



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА КРЫМА

ТАВРИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ

научный журнал

ISSN 2542-0720



№3 (35)
2023



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА КРЫМА»

ТАВРИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

TAURIDA HERALD
OF THE AGRARIAN SCIENCES

№3 (35)

2023

ФГБУН «НИИСХ Крыма»

ТАВРИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ

научный журнал

ISSN 2542-0720

Главный редактор - Паштецкий В.С.
Зам. главного редактора - Дидович С.В.

Зам. главного редактора - Радченко Л.А.
Ответственный редактор - Мягких Е.Ф.
Выпускающий редактор - Овчаренко Н.С.
Технический редактор - Козак И.Е.
Ответственный секретарь - Дунаева Е.А.

А Адрес редакции:

295493, Республика Крым,
г. Симферополь, ул. Киевская 150,
т/ ф. (3652)560-390,
e-mail: tavestnik@niishk.site

И Издатели:

ФГБУН «НИИСХ Крыма», 295493,
Республика Крым, г. Симферополь,
ул. Киевская, 150,
т/ ф. (3652)560-007,
email: priemnaya@niishk.site

ФГБУН «АНЦ "Донской"», 347740,
Ростовская обл., Зерноградский р-н,
г. Зерноград, ул. Научный городок, 3,
т/ф. (863-59) 41-4-68,
e-mail: vniizk30@mail.ru

Формат 60x84/8, усл. печ. л. 10.00
Заказ № 11У/30
Тираж 500 экз.

Подписано к печати 21.09.2023.
Отпечатано с оригинал-макета

Дата выхода: 06.12.2023¹.
Дизайн и верстка - Н.С. Овчаренко,
Е.А. Дунаева
© ФГБУН «НИИСХ Крыма», 2023.
© Авторы статей, 2023.
© Авторы иллюстраций, 2023.

№3 (35), 2023

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Аблова И.Б., д.с.-х.н., член-корреспондент РАН, ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко»; Аллахвердиев С.Р. оглы, д.б.н., профессор, академик РАЕ, академик АНИРР, ФГБОУ ВО «МГПУ»; Алексеева К.Л., к.с.-х.н., ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»; Архипов М.В., д.б.н., профессор ФГБНУ АФИ, зам. директора СЗЦППО; Ахмедов А.Д., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ»; Бабина Р.Д., к.с.-х.н., ФГБУН «НБС-ННЦ»; Бабицкий Л.Ф., д.т.н., профессор АБиП ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»; Баденко В.Л., д.т.н., профессор СПбПУ; Барталев С.А., д.т.н., проф., ИКИ РАН; Бастаубаева Ш.О., к.с.-х.н. Казахский НИИ земледелия и растениеводства, Боровой Е.П., д.с.-х.н., профессор, ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ»; Гербер Ю.Б., д.т.н., профессор АБиП ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского»; Егорова Н.А., д.б.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Калмыкова Е.В., д.с.-х.н., доцент, ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»; Козырев А.Х., д.с.-х.н., профессор ФГБОУ ВО «Горский ГАУ»; Кудзаев А.Б., д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «Горский ГАУ»; Ларина Г.Е., д.б.н., проф., ФГБНУ «ВНИИФ»; Лупян Е.А., д.т.н., ФГБУН «ИКИ РАН»; Митрофанова И.В., член-корреспондент РАН, д.б.н., начальник отдела научно-инновационной и международной деятельности, ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН; Мишнёв А.В., к.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Моисеев К.Г., к.т.н., ФГБНУ АФИ; Надыкта В.Д., д.т.н., профессор, академик РАН, вице-президент ВПРС МОББ, чл.-корр. Академии технологических наук, директор ФГБНУ ВНИИБЗР; Невкрытая Н.В., к.б.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Немтинов В.И., д.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Остапчук П.С., к.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Паштецкий В.С., д.с.-х.н., директор ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Плугатарь Ю.В., д.с.-х.н., директор ФГБУН «НБС-ННЦ»; Просянкина И.Б., к.б.н., Таврическая академия ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»; Серая Л.Г., к.б.н., ФГБНУ «ВНИИФ»; Сидякин А.И. к.б.н., доцент, ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского»; Скипор О.Б., к.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Song J., Ph.D (candidate), King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang; Soyong K., Dr.Ph., president of Association of Agricultural Technology in Southeast Asia, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang; Соболевский И.В., к.т.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Соколенко О.Н., к.т.н., ФГБОУ ВО «КубГАУ им. И.Т. Трубилина»; Тарасенко В.С., д.г.-м.н., профессор, ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Терлеев В.В., д.с.-х.н., профессор СПбПУ; Тимашёва Л.А., к.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Тихонович И.А., д.б.н., академик РАН, директор ФГБНУ «ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии»; Ткаченко О.Б., д.б.н., ФГБУН «ГБС РАН»; Топунов А.Ф., д.б.н., профессор ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН; Ходяков Е.А., д.с.-х.н., профессор ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ»; Цаценко Л.В., д.б.н., профессор ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ; Чайковская Л.А., д.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Чеходариди Ф.Н., д.в.н., профессор ФГБОУ ВО «Горский ГАУ»; Шейн Е.В., д.б.н., профессор ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В. Ломоносова»; Шагапсов С.Х., д.б.н., профессор «Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова».

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Бабанина С.С., к.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Дидович С.В., к.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Донник И.М., д.б.н., профессор, академик РАСХН, вице-президент РАН; Дунаева Е.А., к.т.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Мягких Е.Ф., к.б.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Овчаренко Н.С., к.б.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Паштецкий В.С., д.с.-х.н., директор ФГБУН «НИИСХ Крыма»; Радченко Л.А., к.с.-х.н., ФГБУН «НИИСХ Крыма».

Научный журнал «Таврический вестник аграрной науки» (“Taurida Herald of the Agrarian Sciences”) основан в 2013 г. Официальный сайт журнала - <http://tvan.niishk.ru/>
Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: ПИ № ФС 77-67084 от 15.09.2016 г.

Учредитель – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (ФГБУН «НИИСХ Крыма»).

Founder – Federal State Budget Scientific Institution “Research Institute of Agriculture of Crimea”, 295493, Republic of Crimea, Smferopol, Kievskaya Str., 150.

E-mail: priemnaya@niishk.site

Периодичность выхода научного журнала «Таврический вестник аграрной науки» - четыре раза в год. Подписной индекс - 65981

В журнале печатаются ранее не опубликованные работы проблемного, экспериментального и методического характера по важнейшим фундаментальным и прикладным направлениям биологической, сельскохозяйственной и технической науки.

С 22 марта 2018 г. журнал включен в утвержденный ВАК Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук. С 5 апреля 2020 г. журнал «Таврический вестник аграрной науки» включен в ядро РИНЦ и в Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science (№674).

Тематические направления журнала:

- 01.05.00 – Биологические науки
 - 01.05.11 – Микробиология
 - 01.05.20 – Биологические ресурсы
- 04.01.00 – Агрономия, лесное и водное хозяйство
 - 04.01.01 – Общее земледелие и растениеводство
 - 04.01.05 – Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика
 - 04.01.02 – Селекция, семеноводство и биотехнология растений
- 04.03.00 – Агроинженерия и пищевые технологии
 - 04.03.01 – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Согласно договору с Научной электронной библиотекой eLIBRARY.RU №708-11/2015 от 09.11.2015 г. журнал включён в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Научный журнал «Таврический вестник аграрной науки» включен в международную базу данных Ulrich’s Periodicals Directory.

Каждой статье, опубликованной в журнале, редакция издания присваивает идентификатор цифрового объекта EDN (eLIBRARY Document Number) и DOI (сервис Zenodo) через Open Science

Материалы издания выборочно включаются в Международную систему научно-технической информации по сельскому хозяйству (AGRIS).

Russian Science
Citation Index



РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ

Science Index



AGRIS



zenodo
ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY



Google
Академия

АНТИПЛАГИАТ

СОДЕРЖАНИЕ

Авальбаев А. М., Юлдашев Р. А., Лубянова А. Р., Плотников А. А., Якупова А. И., Герасимов Н. А., Аллагулова Ч. Р. ВЛИЯНИЕ МОДЕЛЬНОЙ ЗАСУХИ НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАЗНЫХ ЭКОТИПОВ ПШЕНИЦЫ НА НАЧАЛЬНОМ ЭТАПЕ ОНТОГЕНЕЗА	8
Божко И. В., Камбулов С. И., Пархоменко Г. Г., Подлесный Д. С. ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧЕГО ОРГАНА ПАРОВОГО КУЛЬТИВАТОРА	23
Гурьев Г. П., Суворова Г. Н., Пташник О. П., Якубовская А. И., Каменева И. А. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ НА СТРУКТУРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИМБИОЗА (КЛУБЕНЬКИ) И УРОЖАЙНОСТЬ ЧЕЧЕВИЦЫ В УСЛОВИЯХ ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ И РЕСПУБЛИКИ КРЫМ	33
Гущина В. А., Никольская Е. О., Лобанова Н. Ю. СПОСОБЫ БОРЬБЫ С СОРНЯКАМИ В ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЭХИНАЦЕИ ПУРПУРНОЙ	42
Джабборов Н. И., Добринов А. В., Комоедов А. Д. ОЦЕНКА РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА С АДАПТИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ	52
Дидович С. В., Горгулько Т. В., Пась А. Н., Алексеенко О. П., Бараташвили З. А. СКРИНИНГ ШТАММОВ КЛУБЕНЬКОВЫХ БАКТЕРИЙ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ СИМБИОТИЧЕСКОЙ АЗОТФИКСАЦИИ НА БОБОВЫХ КУЛЬТУРАХ	64
Ерёмин Д. И., Ерёмина Д. В., Любимова А. В. ОТНОСИТЕЛЬНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ВОДЫ И ИНДЕКС СТАБИЛЬНОСТИ КЛЕТОЧНЫХ МЕМБРАН ЛИСТЬЕВ КАК ИНСТРУМЕНТЫ СКРИНИНГА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ ОВСА	74
Каширина Н. А., Мишнев А. В., Дроботова Е. Н., Грунина Е. Н., Невкрытая Н. В. ХАРАКТЕРИСТИКА КОЛЛЕКЦИИ МЯТЫ (<i>MENTHA L.</i>) ФГБУН «НИИСХ КРЫМА» ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ПРОДУКТИВНОСТИ	89
Келдибекова М. А., Зубкова М. И. АНАЛИЗ СОРТОВ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ (<i>FRAGARIA ANANASSA DUCH.</i>) ПО ГЕНАМ <i>RCA2</i> И <i>RPF1</i> С ПРИМЕНЕНИЕМ ДНК-МАРКЕРОВ	103
Корелина В. А., Батакова О. Б., Зобнина И. В. ИЗУЧЕНИЕ И ОЦЕНКА ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО	110
Круглова Н. Н. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ К ДЛИТЕЛЬНОМУ ДЕФИЦИТУ ВОДЫ В ПОЛЕВЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ КАК МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД В СЕЛЕКЦИИ ЗАСУХОУСТОЙЧИВЫХ СОРТОВ ХЛЕБНЫХ ЗЛАКОВ	120

- Лыжин А. С., Лукьянчук И. В.
НАСЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К АНТРАКНОЗУ, ДЕТЕРМИНИРУЕМОЙ ДОМИНАНТНЫМ ГЕНОМ *RCA2*, В ГИБРИДНОМ ПОТОМСТВЕ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ 137
- Лыскова И. В., Лисицын Е. М., Лыскова Т. В., Шляхтина Е. А., Рылова О. Н.
ИНФОРМАТИВНОСТЬ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ РЖИ 145
- Невкрытая Н. В., Грунина Е. Н., Скипор О. Б., Каширина Н. А., Овчарова А. Н., Остренко К. С.
АНАЛИЗ ПЛОДОВ КОРИАНДРА ПОСЕВНОГО И ФЕНХЕЛЯ ОБЫКНОВЕННОГО КАК ИСТОЧНИКА ФИТОБИОТИКОВ ДЛЯ МОЛОДНЯКА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА 158
- Нековаль С. Н., Маскаленко О. А., Муравьев В. С.
ВЛИЯНИЕ СИДЕРАТОВ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ НА ЧИСЛЕННОСТЬ ПОЧВЕННЫХ ГРИБОВ РОДА *FUSARIUM* В ЗАЩИЩЁННОМ ГРУНТЕ 170
- Радченко Л. А., Ганоцкая Т. Л.
ОЦЕНКА АДАПТИВНОСТИ СОРТОВ ОВСА ЗИМУЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ СТЕПНОГО КРЫМА 179
- Романенко В. Ю., Соловьёв С. В.
К АНАЛИЗУ ПРОЦЕССА ОЧЕСА ЛЬНА-ДОЛГУНЦА НА КОРНЮ 189
- Румянцев С. Д., Алексеев В. Ю., Шейн М. Ю., Веселова С. В., Бурханова Г. Ф., Максимов И. В.
РОЛЬ БАКТЕРИЙ *BACILLUS SPP.* В ИНДУКЦИИ ГОРМОНАЛЬНЫХ СИГНАЛЬНЫХ ПУТЕЙ И МЕХАНИЗМА РНК-ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЗАЩИТНОГО ОТВЕТА РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ К ОБЫКНОВЕННОЙ ЧЕРЕМУХОВОЙ ТЛЕ *RHOPALOSIPHUM PADI* (L.) 199
- Соболевский И. В., Куклин В. А., Исмаилов Я. Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОМБИНИРОВАННОГО СТЕРНЕВОГО АГРЕГАТА С МОДЕРНИЗИРОВАННЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ ВЫРАВНИВАТЕЛЯ 215
- Черкашина А. В., Приходько А. В.
РЕЗУЛЬТАТЫ ВЛИЯНИЯ СРОКОВ ПОСЕВА КУКУРУЗЫ НА КОЛИЧЕСТВО ПОСЛЕУБОРОЧНЫХ ОСТАТКОВ ПРИ ЕЕ ВОЗДЕЛЫВАНИИ НА ЗЕРНО 227

CONTENTS

Avalbaev A. M., Yuldashev R. A., Lubyanova A. R., Plotnikov A. A., Yakupova A. I., Gerasimov N. A., Allagulova Ch. R. EFFECT OF MODEL DROUGHT ON PHYSIO-BIOCHEMICAL PARAMETERS OF DIFFERENT WHEAT ECOTYPES AT THE INITIAL STAGE OF ONTOGENESIS	8
Bozhko I. V., Kambulov S. I., Parkhomenko G. G., Podlesny D. S. APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES DURING EXPERIMENTAL STUDIES OF THE WORKING BODY OF CULTIVATOR FOR FALLOW FIELDS TILLAGE	23
Guryev G. P., Suvorova G. N., Ptashnik O. P., Yakubovskaya A. I., Kameneva I. A. EVALUATION OF THE EFFECT OF BIOPREPARATIONS ON THE STRUCTURAL ELEMENTS OF SYMBIOSIS (NODULES) AND YIELD OF LENTILS UNDER CONDITIONS OF THE OREL REGION AND THE REPUBLIC OF CRIMEA	33
Gushchina V. A., Nikolskaya E. O., Lobanova N. Yu. WEED CONTROL METHODS IN <i>ECHINACEA PURPUREA</i> CULTIVATION TECHNOLOGY	42
Dzhabborov N. I., Dobrinov A. V., Komoedov A. D. EVALUATION OF THE WORK OF A COMBINED TILLAGE UNIT WITH ADAPTIVE WORKING BODIES	52
Didovich S. V., Gorgulko T.V., Pas' A.N., Alekseenko O.P., Baratashvili Z.A. SCREENING OF NODULE BACTERIA STRAINS FOR SYMBIOTIC NITROGEN FIXATION EFFICIENCY ON LEGUMES	64
Eremin D. I., Eremina D. V., Lyubimova A. V. RELATIVE WATER CONTENT AND LEAF CELL MEMBRANE STABILITY INDEX AS SCREENING TOOLS FOR DROUGHT TOLERANCE IN OATS	74
Kashirina N. A., Mishnev A. V., Drobotova E. N., Grunina E. N., Nevkrytaya N. V. CHARACTERISTICS OF <i>MENTHA</i> L. SAMPLES FROM THE COLLECTION OF THE RESEARCH INSTITUTE OF AGRICULTURE OF CRIMEA BY MAIN INDICATORS OF PRODUCTIVITY	89
Keldibekova M. A., Zubkova M. I. ANALYSIS OF <i>FRAGARIA ANANASSA</i> DUCH. CULTIVARS BY <i>RCA2</i> AND <i>RPF1</i> GENES USING DNA MARKERS	103
Korelina V. A., Batakova O. B., Zobnina I. V. STUDY AND EVALUATION OF THE SOURCE MATERIAL OF MEADOW CLOVER	110
Kruglova N. N. COMPLEX ASSESSMENT OF THE RESISTANCE TO LONG-TERM WATER DEFICIENCY UNDER FIELD AND LABORATORY CONDITIONS AS A METHODOLOGICAL APPROACH IN BREEDING DROUGHT-RESISTANT VARIETIES OF CEREALS	120
Lyzhin A. S., Luk'yanchuk I. V. INHERITANCE OF ANTHRACNOSE RESISTANCE DETERMINED BY THE DOMINANT <i>RCA2</i> GENE IN STRAWBERRY HYBRID PROGENY	137

Lyskova I. V., Lisitsyn E. M., Lyskova T. V., Shlyakhtina E. A., Rylova O. N. INFORMATIVITY OF GRAIN QUALITY PARAMETERS FOR WINTER RYE BREEDING	145
Nevkrytaya N. V., Grunina E. N., Skipor O. B., Kashirina N. A., Ovcharova A. N., Ostrenko K. S. ANALYSIS OF <i>CORIANDRUM SATIVUM</i> L. AND <i>FOENICULUM VULGARE</i> MILL. FRUITS AS A SOURCE OF PHYTOBIOTICS FOR YOUNG CATTLE	158
Nekoval S. N., Maskalenko O. A., Muraviev V. S. EFFECT OF GREEN MANURE AND MICROBIOLOGICAL FERTILIZER ON THE POPULATION OF FUNGI OF THE GENUS <i>FUSARIUM</i> IN A GREENHOUSE	170
Radchenko L. A., Ganotskaya T. L. EVALUATION OF WINTERING OATS VARIETIES ADAPTABILITY UNDER CONDITIONS OF STEPPE CRIMEA	179
Romanenko V. Yu., Soloviev S. V. TO THE ANALYSIS OF THE PROCESS OF COMBING FIBER FLAX ON THE ROOT	189
Rumyantsev S. D., Alekseev V. Yu., Shein M. Yu., Veselova S. V., Burkhanova G. F., Maksimov I. V. THE ROLE OF <i>BACILLUS SPP.</i> IN THE INDUCTION OF HORMONAL SIGNALING PATHWAYS AND MECHANISM OF RNA INTERFERENCE DURING FORMATION DEFENSIVE RESPONSE OF WHEAT PLANTS AGAINST <i>RHOPALOSIPHUM PADI</i> (L.)	199
Sobolevsky I. V., Kuklin V. A., Ismailov Y. N. RESEARCH OF THE OPERATION PROCESS OF AN EXPERIMENTAL COMBINED STUBBLE UNIT WITH MODERNIZED WORKING BODIES OF THE LEVELER	215
Cherkashyna A. V., Prikhodko A. V. EFFECT OF PLANTING DATES ON THE AMOUNT OF POST-HARVEST RESIDUES OF CORN CULTIVATED FOR GRAIN	227

DOI 10.5281/zenodo.10131131

EDN JHPEQQ

УДК 633.111.1:632.112

Авальбаев А. М., Юлдашев Р. А., Лубянова А. Р., Плотников А. А., Якупова А. И., Герасимов Н. А., Аллагулова Ч. Р.

ВЛИЯНИЕ МОДЕЛЬНОЙ ЗАСУХИ НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАЗНЫХ ЭКОТИПОВ ПШЕНИЦЫ НА НАЧАЛЬНОМ ЭТАПЕ ОНТОГЕНЕЗА

Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»

Реферат. Исследование механизмов засухоустойчивости растений крайне актуально, особенно на начальном этапе онтогенеза, во время которого они наиболее чувствительны к действию засухи. Мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) относится к ценным культурам, у которой сформировались два отличающихся по стратегии адаптации к засухе экотипа – лесостепной западносибирский и степной волжский. Цель работы заключалась в анализе показателей роста, водного обмена и активности антиоксидантных ферментов растений пшеницы сортов Зауральская Жемчужина (ЗЖ, лесостепной западносибирский экотип) и Экада 70 (Э-70, степной волжский экотип) на начальном этапе онтогенеза для выявления роли антиоксидантной системы в проявлении засухоустойчивости экотипов при моделировании засухи. Исследования проводили в 2023 г. с использованием общепринятых физиолого-биохимических методов анализа. Установлено, что засуха тормозила рост проростков, при этом относительная скорость роста у растений Э-70 снизилась на 21 %, а у проростков ЗЖ – на 42 %. В условиях засухи у представителей обоих экотипов наблюдали снижение интенсивности транспирации, содержания воды и осмотического потенциала, причем проростки Э-70 эффективнее справлялись с нарушением водного режима. Засуха вызвала увеличение концентрации супероксид аниона, что сопровождалось возрастанием активности антиоксидантных ферментов – у растений Э-70 значения супероксиддисмутазы и пероксидазы превышали контрольные показатели в 2,3 и 2,0 раза, а у сорта ЗЖ – в 2,0 и 1,8 раз. Вызванный засухой окислительный стресс повышал уровень малонового диальдегида (МДА) и экзоосмоса электролитов. Окислительные повреждения были менее выражены у проростков Э-70 – уровни МДА и выхода электролитов у растений Э-70 увеличивались в 1,7 раза, а у сорта ЗЖ – в 2,0 раза. Таким образом, для растений степного волжского экотипа характерна более высокая засухоустойчивость на начальном этапе онтогенеза в сравнении с представителями лесостепного западносибирского экотипа, что может быть обусловлено их более мощной системой антиоксидантной защиты, приводящей к меньшим нарушениям роста и водного обмена.

Ключевые слова: пшеница (*Triticum aestivum* L.), экотипы, засуха, водный обмен, антиоксидантная система.

Для цитирования: Авальбаев А. М., Юлдашев Р. А., Лубянова А. Р., Плотников А. А., Якупова А. И., Герасимов Н. А., Аллагулова Ч. Р. Влияние модельной засухи на физиолого-биохимические параметры разных экотипов пшеницы на начальном этапе онтогенеза // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3(35). С. 8–22. EDN JHPEQQ. DOI: 10.5281/zenodo.10131131.

For citation: Avalbaev A. M., Yuldashev R. A., Lubyanova A. R., Plotnikov A. A., Yakupova A. I., Gerasimov N. A., Allagulova Ch. R. Effect of model drought on physio-biochemical parameters of different wheat ecotypes at the initial stage of ontogenesis // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3(35). P. 8–22. EDN JHPEQQ. DOI: 10.5281/zenodo.10131131.

Введение

Вода – функционально важный компонент растительных клеток, который вовлечен во все физиолого-биохимические процессы. Недостаток воды вызывает серьезные нарушения их протекания, что в целом отражается в снижении продуктивности растений [1–3]. Растения могут сильно различаться по устойчивости к засухе в зависимости от вида, стадии развития, а также интенсивности и длительности воздействия стресса, что в итоге приводит к торможению ростовых процессов и снижению урожайности сельскохозяйственных культур [4]. Растения, прежде всего культурные, крайне чувствительны к действию дефицита влаги в ходе своего раннего развития. Засуха, возникающая на начальных этапах онтогенеза, значительно ингибирует всхожесть семян, тормозит прорастание и рост всходов, что приводит к отставанию культуры в развитии и в дальнейшем к существенному снижению продуктивности культурных растений [5, 6]. Поэтому необходимо проводить исследования механизмов формирования устойчивости растений к засухе, особенно на ранних этапах их онтогенеза – это позволит установить последовательность компонентов защиты растительных организмов [7, 8].

В ходе своего воздействия неблагоприятные факторы, в том числе и засуха, вызывают окислительный стресс, сопровождающийся генерацией избыточного количества активных форм кислорода (АФК), существенным повышением активности антиоксидантных ферментов и накоплением других соединений со свойствами антиоксидантов [9, 10]. Образованные в условиях стресса АФК обладают необычайно высокой реакционной способностью и приводят к окислительному повреждению многих компонентов клеток, включая белки, липиды, нуклеиновые кислоты и мембранные структуры [11, 12]. Наиболее подвержены перекисному окислению мембранные фосфолипиды, при этом снижается их гидрофобность и нарушается стабильность мембран, изменяется работа мембранно-связанных ферментов, повышается проницаемость мембран для ионов, исчезает способность избирательно накапливать вещества [13]. Вместе с тем, растения обладают эффективной антиоксидантной системой для предотвращения окислительного повреждения, которая включает неферментативные низкомолекулярные соединения (аскорбат, глутатион, различные фенольные соединения, витамины С и Е) и антиоксидантные ферменты (пероксидаза, каталаза, пероксиредоксины, глутаредоксины, и тиоредоксины), имеющие ключевое значение в нейтрализации избыточного количества АФК [9, 13].

К числу наиболее распространенных в мире и России ценных сельскохозяйственных культур относится мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.). Ей принадлежит одно из ведущих мест в зерновом балансе нашей страны, она занимает первое место по посевной площади [14, 15]. Сохранение урожая пшеницы остается одной из приоритетных задач в современном растениеводстве, особенно в регионах рискованного земледелия, характеризующихся засушливыми климатическими условиями, к которым относится большая часть России. Так, в 2022 г. озимой и яровой пшеницей было засеяно около 29,5 млн га. Около половины этих площадей приходится на восемь регионов, в семи из которых (Алтайский и Ставропольские края, Волгоградская область, Краснодарский край, Оренбургская, Омская и Саратовская области) под пшеницей занято более 1 млн га, и в одном (Ростовская область) – около 3 млн га [15]. Все эти регионы полностью находятся на территории засушливых степных биомов за исключением Алтайского края и Омской области, часть которых находится на территории Тоболо-Приобского лесостепного биома, для которого также характерны засухи [16]. Учитывая вышеизложенное, изучение механизмов засухоустойчивости пшеницы является актуальным [17, 18]. Вместе с тем, в разных эколого-географических зонах России засуха оказывает максимальный негативный

эффект на растения пшеницы в зависимости от времени года. Так, весенняя засуха характерна для Западной Сибири, когда растения пшеницы наиболее чувствительны в начальные этапы вегетации. В юго-восточных регионах европейской части России, в частности Поволжье, засуха наблюдается в летние месяцы. В зависимости от видов засухи в ходе естественного и искусственного отборов у пшеницы сформировались две различающиеся по стратегии адаптации к засухе эколого-географические группы (или экотипы) – западносибирский и степной волжский [19–22]. Растения западносибирского экотипа отличаются замедленным ростом на ранней стадии развития, что обусловлено весенней засухой, доминирующей в регионах произрастания. Обильные в западносибирском климатическом поясе летние дожди хорошо используются сортами пшеницы этого экотипа для последующего быстрого роста и развития. Для растений сортов степного волжского экотипа характерен интенсивный рост в начале вегетации, для чего расходуются весенние запасы влаги в почве, поэтому к моменту наступления летней засухи растения этого экотипа образуют хорошо разветвленную сеть корней, что способствует формированию хорошего урожая [20, 21]. Таким образом, сорта пшеницы, относящиеся к разным эколого-географическим группам, по-разному адаптируются к условиям засухи, что наиболее характерно на начальных этапах онтогенеза растений. Поэтому представляет большую актуальность изучение физиолого-биохимических особенностей сортов мягкой пшеницы разных экотипов на ранних этапах онтогенеза, когда семена и молодые проростки пшеницы характеризуются наибольшей чувствительностью к неблагоприятным факторам. Это позволит приблизиться к выяснению особенностей механизмов формирования защитных механизмов к дефициту влаги у различающихся по стратегии адаптации к засухе экотипов пшеницы.

Цель исследований – анализ ростовых параметров, показателей водного обмена и активности антиоксидантных ферментов у проростков пшеницы сортов Зауральская Жемчужина (ЗЖ, лесостепной западносибирский экотип) и Экада 70 (Э-70, степной волжский экотип) на начальном этапе онтогенеза для выявления роли антиоксидантной системы в проявлении засухоустойчивости экотипов при моделировании почвенной засухи.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2023 г. в лаборатории молекулярных механизмов устойчивости растений к стрессам Института биохимии и генетики – обособленного структурного подразделения ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (ИБГ УФИЦ РАН). В качестве объектов исследования использовали растения мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. на начальном этапе онтогенеза (возраст – 7–9 сут), различающихся по стратегии адаптации к засухе экотипов (лесостепного западносибирского – сорт Зауральская Жемчужина (ЗЖ) и степного волжского – сорт Экада 70 (Э-70)), предоставленные Чишминским селекционным центром Башкирского научно-исследовательского института сельского хозяйства – обособленного структурного подразделения ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (п. Чишмы, Россия). В работе использовали периодизацию онтогенеза хлебных злаков в разработке Т. Б. Батыгиной [23].

Семена высевали в вегетационные сосуды (25×25×25 см) объемом 15 л (по 30 растений в сосуде, глубина посева 4–5 см, расстояние между рядками 2,5 см, между растениями в ряду – 2,5 см). В каждом вегетационном сосуде на дне был разложен керамзит агротехнический слоем в 2–3 см (ООО «Терра Мастер», г. Красноярск), который сверху заполняли почвогрунтом (рН = 6,5, с оптимальным соотношением NPK, влажностью 65 %, ООО «Велторф», Россия). Семена выращивали в

контролируемых условиях (температура 21–23 °С, 16-часовой фотопериод, освещенность – 360 мкмоль/(м² с), влажность воздуха – 60 %). В течение первых трех суток все вегетационные сосуды поливали водой для прорастания семян. Затем часть растений подвергали ранней почвенной засухе, для моделирования которой полив не производили в течение последующих шести дней. Контрольные растения (не подвергнутые почвенной засухе) поливали водой каждый день. Оценку физиолого-биохимических показателей проводили у 7–9-суточных проростков.

Рост оценивали по относительной скорости роста (ОСР) проростков, которую рассчитывали по изменению их линейных размеров за разные периоды времени [24, 25]. ОСР (см/см/сутки) рассчитывали по формуле: $ОСР = (\ln L_2 - \ln L_1) / (t_2 - t_1)$, где L_2 и L_1 – длина проростков в периоды времени t_2 и t_1 . Эксперименты по оценке показателей роста проводили в трех–четыре биологических повторениях, каждый вариант включал не менее 30 растений.

Интенсивность транспирации рассчитывали весовым методом, определяя потерю массы проростками, поделенную на время между измерениями и количество проростков [26]. Относительное содержание воды (ОСВ) в проростках рассчитывали по формуле:

$$ОСВ = [(сырая\ масса - сухая\ масса) / (масса\ при\ полном\ тургоре - сухая\ масса)] \times 100 \%$$

С целью оценки тургорной массы проростки помещали при комнатной температуре в темноту в закрытые сосуды с дистиллированной водой [25]. После определения массы при полном тургоре проростки высушивали и рассчитывали ОСВ. Для определения осмотического потенциала проростки замораживали и затем оттаивали для последующего центрифугирования. Осмотический потенциал полученного клеточного сока измеряли с помощью цифрового микроосмометра (“Camlab Ltd.”, Cambridge, Великобритания).

Генерацию супероксид аниона ($O_2^{\cdot-}$) определяли акцепторным методом по превращению эпинефрина в присутствии $O_2^{\cdot-}$ в адренохром [27]. Образование адренохрома определяли спектрофотометрически при длине волны 490 нм. Анализ активности общей супероксиддисмутазы (СОД, КФ: 1.15.1.1) определяли с использованием нитросинего тетразолия (НСТ) [28]. Активность пероксидазы (КФ: 1.11.1.7) определяли микрометодом, основанном на окислении (о-)фенилендиамина в присутствии перекиси водорода [29]. Оптическую плотность измеряли при длине волны 490 нм на спектрофотометре Benchmark Microplate Reader (“BioRad”, США). Концентрацию белка определяли, как описано в [30].

Об интенсивности перекисного окисления липидов судили по образованию малонового диальдегида (МДА) с помощью цветной реакции с тиобарбитуровой кислотой. Определение выхода электролитов из тканей проростков проводили с использованием кондуктометра HI8733 (“Hanna Instruments”, США) [31].

На рисунках и таблицах представлены данные средних арифметических трех независимых опытов, каждый из которых проведен в трех биологических повторностях, и их стандартные ошибки. Статистический анализ проводили с помощью дисперсионного анализа ANOVA, используя SPSS 13.0 для Windows (“SPSS Inc.”, США). Достоверность различий между средними значениями определяли с помощью LSD-теста при $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Нами был проведен сравнительный анализ физиолого-биохимических показателей растений пшеницы сортов Экада 70 (Э-70) и Зауральская Жемчужина (ЗЖ) – представителей двух различающихся по стратегии адаптации к засухе экотипов

пшеницы – степного волжского и лесостепного западносибирского в начальный этап их онтогенеза в норме и в условиях почвенной засухи.

В ходе оценки воздействия засухи на относительную скорость роста 7–9-суточных проростков разных экотипов пшеницы было выявлено, что данный показатель у сорта Э-70 в контроле был выше относительно такового у сорта ЗЖ на 20 % в течение всего опыта (рисунок 1). Воздействие почвенной засухи привело к заметному поступательному снижению ОСР у проростков обоих сортов, однако у сорта западносибирской селекции торможение роста было выражено сильнее. Так, если у сорта Э-70 на седьмые, восьмые и девятые сутки ОСР уменьшался на 11 %, 15 % и 21 %, то у сорта ЗЖ падение ОСР составляло в те же временные точки 28 %, 33 % и 42 % соответственно (рисунок 1).

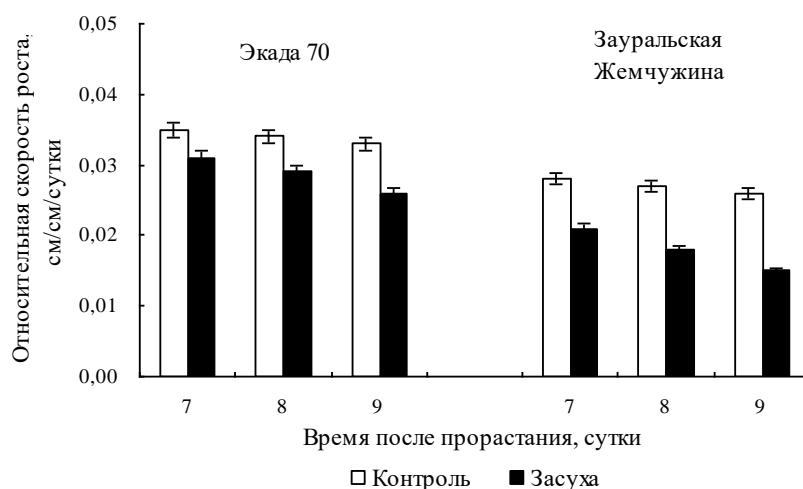


Рисунок 1 – Относительная скорость роста 7–9-суточных проростков пшеницы сортов Экада 70 и Зауральская Жемчужина в условиях почвенной засухи

Можно заключить, что проростки пшеницы сорта Э-70 степного волжского экотипа на раннем этапе своего развития обладают более высокой засухоустойчивостью в сравнении с представителями лесостепного западносибирского экотипа. Полученные нами данные согласуются с результатами исследования, где также была выявлена более высокая устойчивость к засухе представителей степного волжского экотипа пшеницы на начальном этапе онтогенеза [20].

Необходимым условием для нормального роста и развития растений и их функционирования в условиях стресса является поддержание в тканях водного баланса [32]. Так как засуха приводит к нарушению водного режима, а также вызывает осмотический стресс в растениях, важно было провести анализ интенсивности транспирации (рисунок 2), относительного содержания воды (рисунок 3) и осмотического потенциала (таблица 1) растений сортов пшеницы разных экотипов в ходе их проращивания в норме и при засухе.

В ходе экспериментов был выявлен более высокий уровень транспирации у контрольных проростков сорта Э-70. В условиях почвенной засухи у проростков обоих сортов фиксировали резкое падение интенсивности транспирации. На седьмые сутки стресса этот показатель в проростках сорта Э-70 снизился примерно на 30 %, к восьмым – на 40 %, а уже к девятым он составлял 50 % от уровня контроля (рисунок 2). Вместе с тем, в проростках сорта ЗЖ снижение транспирации было выше: на седьмые, восьмые и девятые сутки интенсивность транспирации у сорта ЗЖ уменьшалась на 45 %, 55 % и 65 % соответственно. Уменьшение интенсивности транспирации является одним из

механизмов адаптации растений к обезвоживанию, когда снижение потери воды листьями компенсирует недостаток поглощения воды корнями из почвы [26]. Приспособление к засухе у сорта Э-70 происходило гораздо эффективнее, так как компенсационный механизм адаптации к нехватке воды благодаря уменьшению транспирационных потерь был существенно ниже у данного сорта в сравнении с проростками ЗЖ. Об этом также может свидетельствовать и более высокий показатель относительного содержания воды (ОСВ) проростков сорта волжской селекции в условиях стресса (рисунок 3). Так, хотя воздействие засухи ожидаемо и привело к снижению на 25 % ОСВ проростков сорта Э-70 на девятые сутки, но это было ниже падения данного параметра у представителя лесостепного западносибирского экотипа (снижение на 35 %).

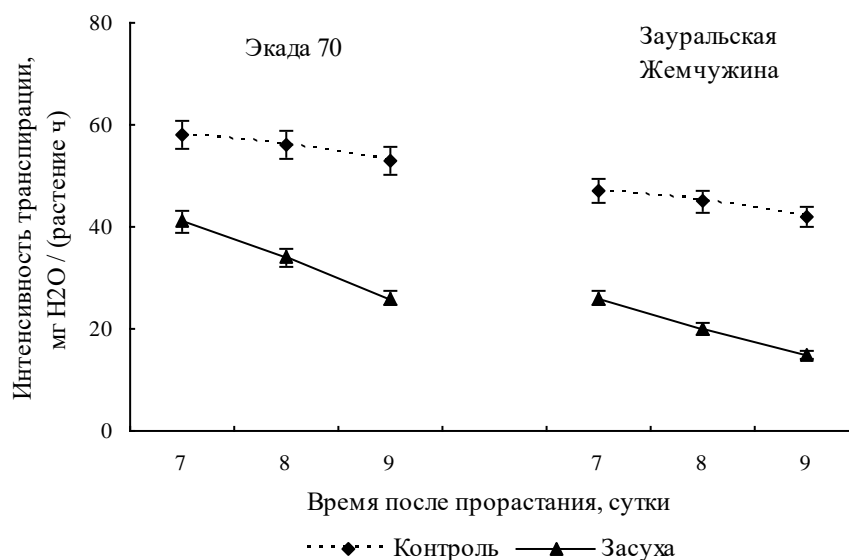


Рисунок 2 – Интенсивность транспирации 7–9-суточных проростков пшеницы сортов Экада 70 и Зауральская Жемчужина в условиях почвенной засухи

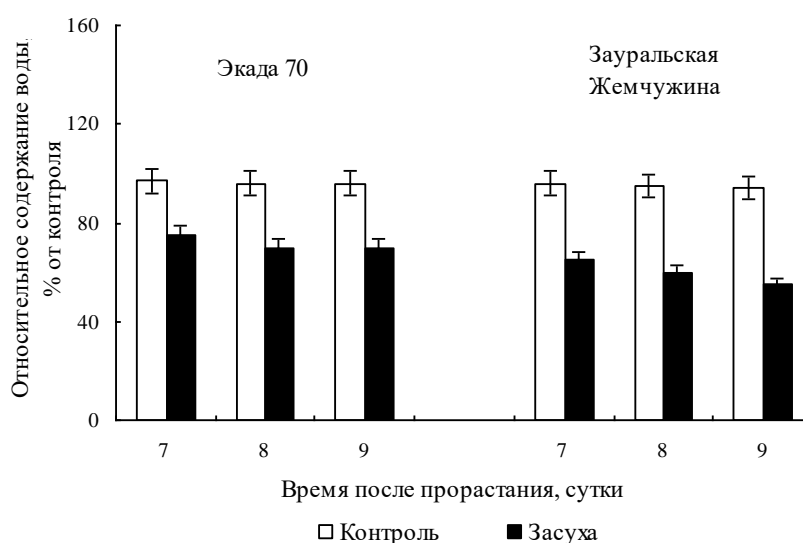


Рисунок 3 – Относительное содержание воды в 7–9-суточных проростках пшеницы сортов Экада 70 и Зауральская Жемчужина в условиях почвенной засухи

Вместе с тем, в ходе стресса наблюдали значительное снижение осмотического потенциала сока побегов проростков обоих экотипов (таблица 1), что свидетельствует об аккумуляции осмотически активных веществ. В условиях засухи осмотический потенциал побегов проростков пшеницы сорта Э-70 максимально уменьшался (на 99 % от уровня контроля) на седьмые сутки, но в последующие сутки он постепенно повышался, и к девятым суткам его снижение было наполовину меньше, чем у 7-суточных проростков (на 50 % от уровня контроля). Хотя понижение осмотического потенциала на седьмые сутки у сорта ЗЖ было меньше, чем у сорта Э-70 (на 67 % от уровня контроля), однако до конца опыта оно оставалось практически на том же уровне (таблица 1). В ходе воздействия негативных факторов, вызывающих дефицит влаги, повышение содержания осмотиков (о чем свидетельствует снижение осмотического потенциала) может являться фактором, способствующем защите растений от осмотического стресса [26]. Хорошо известно, что накопление осмотически активных веществ, в частности пролина, коррелирует с повышением устойчивости растений к обезвоживанию [33]. Более низкий уровень осмотического потенциала у сорта Э-70 к седьмым суткам может свидетельствовать о его более высокой устойчивости к дефициту влаги. В то же время быстрое последующее (к девятым суткам) повышение осмотического потенциала (и соответственно снижение содержания осмотиков) у данного сорта скорее свидетельствует о его более быстрой адаптации к условиям дефицита влаги и снижении повреждающего эффекта засухи на проростки. Также повышение осмотического потенциала на девятые сутки у сорта Э-70 может быть результатом более высокой оводненности растений волжского экотипа в сравнении с западносибирским на фоне стресса (рисунок 3). Вместе с тем, поддержание более высокой относительной скорости роста более устойчивого сорта также может требовать и большего расхода метаболитов (в том числе осмотически активных), что могло сказаться на падении их содержания и соответственно повышении осмотического потенциала.

Таблица 1 – Осмотический потенциал (МПа) 7–9-суточных проростков пшеницы сортов Экада 70 и Зауральская Жемчужина в условиях почвенной засухи

Время после прорастания, сут	Экада 70		Зауральская Жемчужина	
	контроль	засуха	контроль	засуха
Седьмые	-0,86 ± 0,04	-1,71 ± 0,11	-0,82 ± 0,03	-1,39 ± 0,09
Восьмые	-0,89 ± 0,04	-1,45 ± 0,09	-0,84 ± 0,03	-1,37 ± 0,08
Девятые	-0,91 ± 0,05	-1,29 ± 0,08	-0,85 ± 0,04	-1,35 ± 0,08

Таким образом, засуха негативно влияла на водный обмен проростков обоих сортов, уменьшая в них интенсивность транспирации, относительное содержание воды и осмотический потенциал. Вместе с тем, негативный эффект обезвоживания гораздо существеннее проявлялся у сорта ЗЖ западносибирского экотипа, что может являться еще одним аргументом в пользу его более низкой засухоустойчивости в начальный этап онтогенеза.

Так как стрессовые воздействия, в частности дефицит влаги, вызывают в растениях резкое усиление генерации активных форм кислорода (АФК), приводящее к дисбалансу прооксидантов/антиоксидантов, можно было ожидать, что важный вклад в защиту исследованных экотипов от воздействия засухи может вносить активация в них системы антиоксидантной защиты [34]. Засуха вызвала в побегах проростков обоих сортов к седьмым суткам значительное усиление продукции супероксид аниона, которое продолжало повышаться до самого конца опыта (рисунок 4, А). При этом у менее засухоустойчивого сорта ЗЖ наблюдали гораздо больший уровень накопления АФК – так, к девятым суткам у растений этого сорта уровень супероксид аниона

превышал контрольный в 2,5 раза, в то время как у более засухоустойчивого он вырос в 1,8 раза (рисунок 4, А). Вслед за повышением АФК происходило и существенное повышение активности антиоксидантных ферментов – супероксиддисмутазы и пероксидазы. Можно видеть, что на девятые сутки уровень СОД и пероксидазы у подверженных засухе проростков сорта Э-70 превышал контрольные показатели в 2,3 и 2,0 раза, тогда как у сорта ЗЖ – в 2,0 и 1,8 раза (рисунок 4, Б и В).

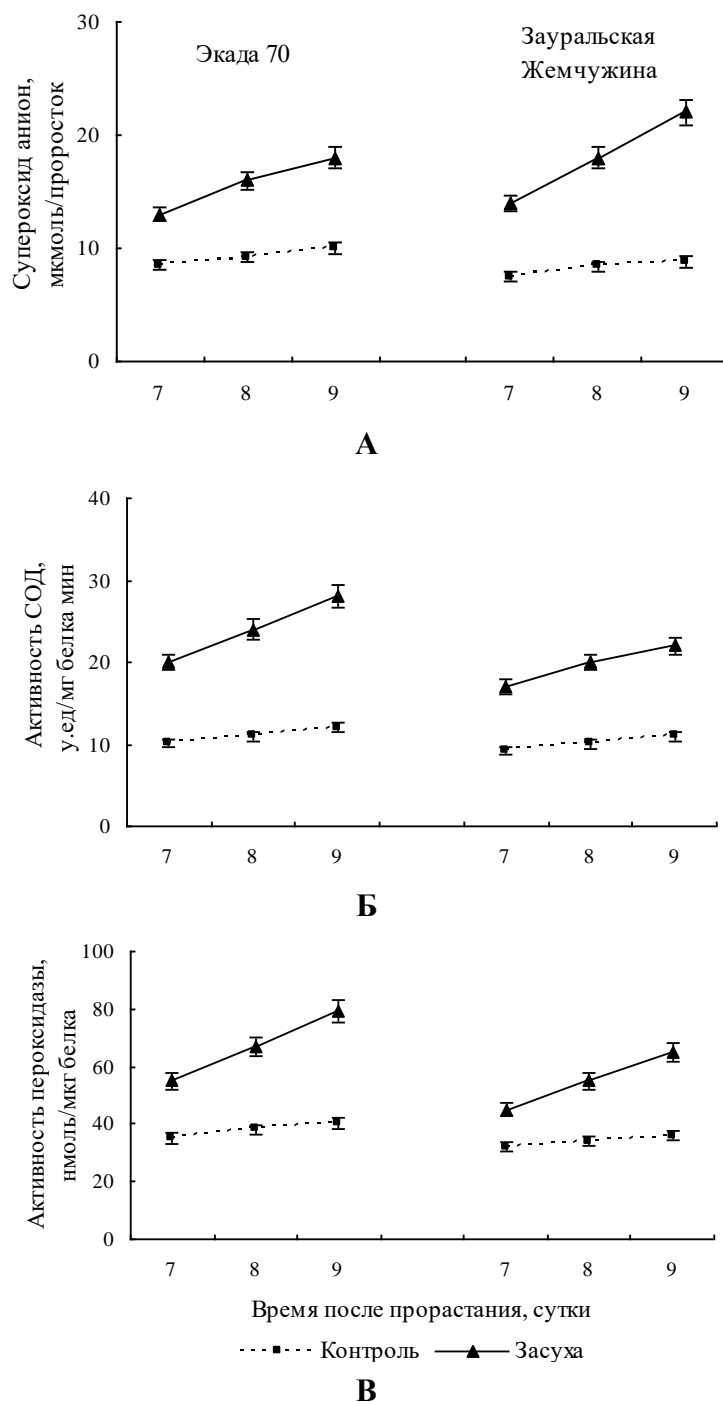


Рисунок 4 – Динамика содержания супероксид аниона (А), активности супероксиддисмутазы (Б) и пероксидазы (В) в 7–9-суточных проростках пшеницы сортов Экада 70 и Зауральская Жемчужина в условиях почвенной засухи

Таким образом, уровень активации антиоксидантных ферментов был выше у более устойчивого сорта Э-70, что, вероятно, позволяло ему более успешно справляться с последствиями засухи. Схожие изменения в антиоксидантной системе были обнаружены у двух различающихся по устойчивости к засухе сортов пшеницы в условиях дефицита влаги, при этом у устойчивого сорта активность антиоксидантных ферментов была также существенно выше [35].

Как известно, стресс-индуцируемая продукция АФК оказывает повреждающий эффект на мембранные структуры [31], о чем можно судить по показателям перекисного окисления липидов, в частности по содержанию малонового диальдегида и уровню экзоосмоса электролитов из тканей (рисунок 5)

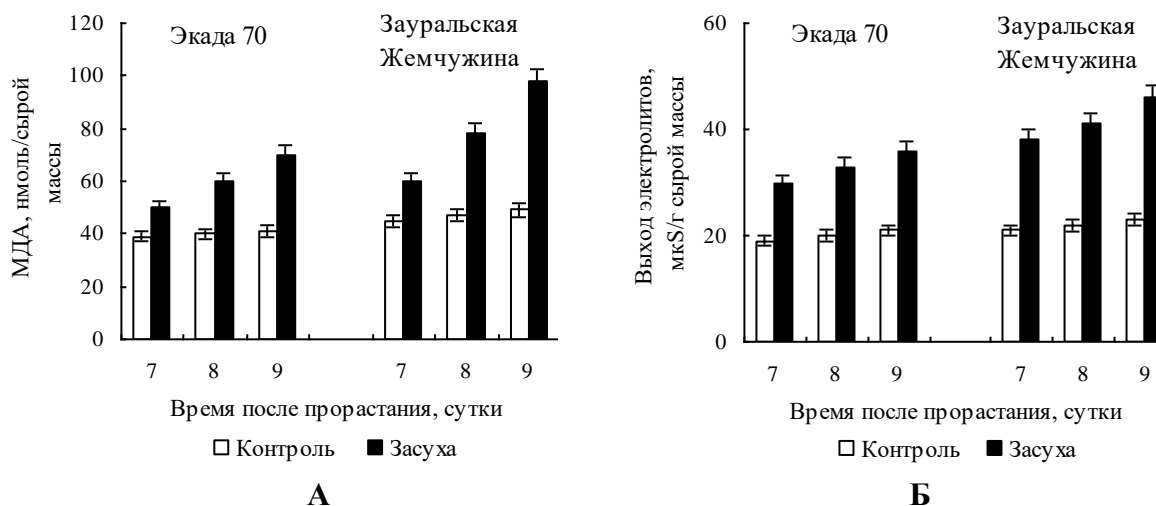


Рисунок 5 – Содержание МДА (А) и выход электролитов (Б) в 7–9-суточных проростках пшеницы сортов Экада 70 и Зауральская Жемчужина в условиях почвенной засухи

Вызванный почвенной засухой окислительный стресс приводил к нарушению целостности мембран, что выражалось в существенном возрастании уровня МДА и выхода электролитов в проростках обоих сортов пшеницы (рисунок 5). При этом показатели повреждения мембранных структур были заметно выше у менее устойчивого сорта ЗЖ. Так, если к концу опыта (девятые сутки) значения МДА и выхода электролитов у подверженных стрессу проростков сорта Э-70 превышали таковые контрольных растений в 1,7 раза, то у сорта ЗЖ данные параметры возрастали в два раза (рисунок 5). Таким образом, более низкий уровень стресс-индуцируемых окислительных повреждений мембранных структур также указывает на более высокую засухоустойчивость сорта Э-70 степного волжского экотипа в начальный этап онтогенеза.

Выводы

В ходе исследований выявлено, что засуха в разной степени тормозила рост проростков, различающихся по стратегии адаптации к засухе экотипов пшеницы – лесостепного западносибирского (сорт Зауральская Жемчужина, ЗЖ) и степного волжского (сорт Экада 70, Э-70) на начальном этапе онтогенеза. Так, если относительная скорость роста к концу опыта (на девятые сутки) у проростков сорта Э-70 снизилась на 21 %, то у растений ЗЖ – на 42 %, что свидетельствует о более высокой засухоустойчивости растений степного волжского экотипа в сравнении с представителями лесостепного западносибирского экотипа. Воздействие засухи вызвало нарушение водного режима проростков обоих сортов пшеницы, что отразилось в снижении интенсивности транспирации, относительного содержания

воды и осмотического потенциала обоих сортов. При этом негативный эффект обезвоживания был сильнее выражен у представителя западносибирской селекции. Вместе с тем, у подверженных стрессу проростков сорта Э-70 значения СОД и пероксидазы превышали контрольные показатели в 2,3 и 2,0 раза, тогда как у сорта ЗЖ – в 2,0 и 1,8 раза. В то же время, при стрессе значения МДА и выхода электролитов у проростков сорта Э-70 были выше контрольных в 1,7 раза, тогда как у сорта ЗЖ данные параметры возрастали в 2,0 раза. Таким образом, в условиях засухи у проростков сорта Э-70 выявлена более высокая активность антиоксидантных ферментов при более низком уровне повреждений мембранных структур, что указывает на более мощную систему антиоксидантной защиты у представителя данного сорта в сравнении с сортом ЗЖ. Совокупность полученных данных свидетельствует о различии в устойчивости к дефициту влаги у различающихся по стратегии адаптации к засухе экотипов пшеницы на раннем этапе их онтогенеза – растения степного волжского экотипа более засухоустойчивы в сравнении с представителями лесостепного западносибирского экотипа.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00246, <https://rscf.ru/project/23-26-00246/>

Литература

1. Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D., Basra S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management // *Agronomy for Sustainable Development*. 2009. Vol. 29. P. 185–212. DOI: 10.1051/agro:2008021.
2. Razi K., Muneer S. Drought stress-induced physiological mechanisms, signaling pathways and molecular response of chloroplasts in common vegetable crops // *Critical Reviews in Biotechnology*. 2021. Vol. 41. P. 669–691. DOI: 10.1080/07388551.2021.1874280.
3. Guizani A., Askri H., Amenta M. L., Defez R., Babay E., Bianco C., Rapaná N., Finetti-Sialer M., Gharbi F. Drought responsiveness in six wheat genotypes: identification of stress resistance indicators // *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. Art. No. 1232583. DOI: 10.3389/fpls.2023.1232583.
4. Osakabe Y., Osakabe K., Shinozaki K., Tran L.-S. P. Response of plants to water stress // *Frontiers in Plant Science*. 2014. Vol. 5. Art. No. 86. DOI: 10.3389/fpls.2014.00086.
5. Stallmann J., Schweiger R., Müller C. Effects of continuous versus pulsed drought stress on physiology and growth of wheat // *Plant Biology*. 2018. Vol. 20. P. 1005–1013. DOI: 10.1111/plb.12883.
6. Dietz K. J., Zörb C., Geilfus C. M. Drought and crop yield // *Plant Biology*. 2021. Vol. 23. P. 881–893. DOI: 10.1111/plb.13304.
7. González E. M. Drought stress tolerance in plants // *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24. Art. No. 6562. DOI: 10.3390/ijms24076562.
8. Hura T., Hura K., Ostrowska A. Drought-stress induced physiological and molecular changes in plants 2.0 // *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24. Art. No. 1773. DOI: 10.3390/ijms24021773.
9. Тарчевский И. А. Сигнальные системы клеток растений. М.: Наука, 2002. 294 с.
10. Mittler R., Zandalinas S. I., Fichman Y., Van Breusegem F. Reactive oxygen species signalling in plant stress responses // *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. 2022. Vol. 23. P. 663–679. DOI: 10.1038/s41580-022-00499-2.
11. Choudhury F. K., Rivero R. M., Blumwald E., Mittler R. Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination // *The Plant Journal*. 2017. Vol. 90. P. 856–867. DOI: 10.1111/tpj.13299.
12. Waszczak C., Carmody M., Kangasjärvi J. Reactive oxygen species in plant signaling // *Annual Review of Plant Biology*. 2018. Vol. 69. P. 209–236. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042817-040322.
13. Demidchik V. Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology // *Environmental and Experimental Botany*. 2015. Vol. 109. P. 212–228. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2014.06.021.
14. Закшевская Е. В., Куксин С. В. Тенденции и прогнозные параметры развития производства, потребления и экспорта зерна в России // *Научное обозрение: теория и практика*. 2021. Т. 11. № 8. С. 2314–2326.
15. Главный межрегиональный центр. Посевные площади Российской Федерации в 2022 году. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Posev_2022.xlsx (дата обращения 04.09.2023 г.).

16. Биоразнообразие биомов России. Равнинные биомы // Под ред. Огуреевой Г. Н. М.: ФГБУ «ИГКЭ», 2020. 623 с.
17. Папцов А. Г., Шеламова Н. А. Глобальная продовольственная безопасность в условиях климатических изменений. М.: РАН, 2018. 132 с.
18. Temirbekova S. K., Kulikov I. M., Afanasyeva Y. V., Beloshapkina O. O., Kalashnikova E. A., Kirakosyan R. N., Dokukin P. A., Kucher D. E., Latati M., Rebouh N. Y. The evaluation of winter wheat adaptation to climate change in the central non-black region of Russia: study of the gene pool resistance of wheat from the N.I. Vavilov Institute of Plant Industry (VIR) World collection to abiotic stress factors // *Plants*. 2021. Vol. 10. Art. No. 2337. DOI: 10.3390/plants10112337.
19. Жуковский П. М. Пшеница в СССР. М.: Сельхозгиз, 1957. 632 с.
20. Мухитов Л. А., Самуилов Ф. Д. Засухоустойчивость разных экотипов яровой мягкой пшеницы в лесостепи Оренбургского Предуралья // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2007. Т. 2. № 1. С. 57–59.
21. Цыганков В. И. Создание адаптивных сортов яровой пшеницы для условий сухостепных зон Казахстана // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2011. Т. 2. № 30. С. 46–50.
22. Мухитов Л. А., Самуилов Ф. Д. Величина подколосового междоузлия и продуктивность сортов яровой мягкой пшеницы разных экологических групп в лесостепи Оренбургского Предуралья // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2014. Т. 9. № 3. С. 135–138.
23. Батыгина Т. Б. Хлебное зерно. Л.: Наука, 1987. 103 с.
24. Масленникова Д. Р., Фатхутдинова Р. А., Безрукова М. В., Аллагулова Ч. Р., Ключникова Е. О., Шакирова Ф. М. Механизмы протекторного действия салициловой кислоты на растения пшеницы в условиях кадмиевого стресса // *Агрехимия*. 2013. № 3. С. 72–79.
25. Безрукова М. В., Кудоярова Г. Р., Лубянова А. Р., Масленникова Д. Р., Шакирова Ф. М. Влияние 24-эпибрассинолида на водный обмен отличающихся по засухоустойчивости сортов пшеницы при осмотическом стрессе // *Физиология растений*. 2021. Т. 68. № 2. С. 161–169. DOI: 10.31857/S0015330321010048.
26. Шарипова Г. В., Веселов Д. С., Кудоярова Г. Р., Тимергалин М. Д., Wilkinson S. Влияние ингибитора рецепции этилена на рост, водный обмен и содержание абсцизовой кислоты у растений пшеницы при дефиците воды // *Физиология растений*. 2012. Т. 59. С. 619–626.
27. Misra H. R., Fridovich I. The univalent reduction of oxygen by reduced flavins and quinones // *Journal of Biological Chemistry*. 1972. Vol. 247. P. 188–192. DOI: 10.1016/S0021-9258(19)45773-6.
28. Minibayeva F. V., Gordon L. K., Kolesnikov O. P., Chasov A. V. Role of extracellular peroxidase in the superoxide production by wheat root cells // *Protoplasma*. 2001. Vol. 217. P. 125–128. DOI: 10.1007/BF01289421.
29. Максимов И. В., Сорокань А. В., Черепанова Е. А., Сурина О. Б., Трошина Н. Б., Яруллина Л. Г. Влияние салициловой и жасмоновой кислот на компоненты про-/антиоксидантной системы в растениях картофеля при фитофторозе // *Физиология растений*. 2011. Т. 58. С. 243–251.
30. Bradford M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // *Analytical Biochemistry*. 1976. Vol. 72. P. 248–254. DOI: 10.1016/0003-2697(76)90527-3.
31. Avalbaev A., Allagulova Ch., Maslennikova D., Fedorova K., Shakirova F. Methyl jasmonate and cytokinin mitigate the salinity-induced oxidative injury in wheat seedlings // *Journal of Plant Growth Regulation*. 2021. Vol. 40. P. 1741–1752. DOI: 10.1007/s00344-020-10221-1
32. Akhtyamova Z., Martynenko E., Arkhipova T., Seldimirova O., Galin I., Belimov A., Vysotskaya L., Kudoyarova G. Influence of plant growth-promoting rhizobacteria on the formation of apoplastic barriers and uptake of water and potassium by wheat plants // *Microorganisms*. 2023. Vol. 11. Art. No. 1227. DOI: 10.3390/microorganisms11051227.
33. Bhagyawant S. S., Narvekar D. T., Gupta N., Bhadkaria A., Koul K. K., Srivastava N. Variations in the antioxidant and free radical scavenging under induced heavy metal stress expressed as proline content in chickpea // *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2019. Vol. 25. P. 683–696. DOI: 10.1007/s12298-019-00667-3.
34. Колупаев Ю. Е., Кокорев А. И. Антиоксидантная система и устойчивость растений к недостатку влаги // *Физиология растений и генетика*. 2019. Т. 51. № 1. С. 28–54. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2019.01.028>.
35. Abid M., Tian Z., Ata-Ul-Karim S. T., Liu Y., Cui Y., Zahoor R., Jiang D., Dai T. Improved tolerance to post-anthesis drought stress by pre-drought priming at vegetative stages in drought-tolerant and sensitive wheat cultivars // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2016. Vol. 106. P. 218–227. DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.05.003.

References

1. Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D., Basra S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management // *Agronomy for Sustainable Development*. 2009. Vol. 29. P. 185–212. DOI: 10.1051/agro:2008021.
2. Razi K., Muneer S. Drought stress-induced physiological mechanisms, signaling pathways and molecular response of chloroplasts in common vegetable crops // *Critical Reviews in Biotechnology*. 2021. Vol. 41. P. 669–691. DOI: 10.1080/07388551.2021.1874280.
3. Guizani A., Askri H., Amenta M. L., Defez R., Babay E., Bianco C., Rapaná N., Finetti-Sialer M., Gharbi F. Drought responsiveness in six wheat genotypes: identification of stress resistance indicators // *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. Art. No. 1232583. DOI: 10.3389/fpls.2023.1232583.
4. Osakabe Y., Osakabe K., Shinozaki K., Tran L.-S. P. Response of plants to water stress // *Frontiers in Plant Science*. 2014. Vol. 5. Art. No. 86. DOI: 10.3389/fpls.2014.00086.
5. Stallmann J., Schweiger R., Müller C. Effects of continuous versus pulsed drought stress on physiology and growth of wheat // *Plant Biology*. 2018. Vol. 20. P. 1005–1013. DOI: 10.1111/plb.12883.
6. Dietz K. J., Zörb C., Geilfus C. M. Drought and crop yield // *Plant Biology*. 2021. Vol. 23. P. 881–893. DOI: 10.1111/plb.13304.
7. González E. M. Drought stress tolerance in plants // *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24. Art. No. 6562. DOI: 10.3390/ijms24076562.
8. Hura T., Hura K., Ostrowska A. Drought-stress induced physiological and molecular changes in plants 2.0 // *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24. Art. No. 1773. DOI: 10.3390/ijms24021773.
9. Tarchevsky I. A. Plant cell signaling systems. Moscow: Nauka, 2002. 294 p.
10. Mittler R., Zandalinas S. I., Fichman Y., Van Breusegem F. Reactive oxygen species signalling in plant stress responses // *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. 2022. Vol. 23. P. 663–679. DOI: 10.1038/s41580-022-00499-2.
11. Choudhury F. K., Rivero R. M., Blumwald E., Mittler R. Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination // *The Plant Journal*. 2017. Vol. 90. P. 856–867. DOI: 10.1111/tpj.13299.
12. Waszczak C., Carmody M., Kangasjärvi J. Reactive oxygen species in plant signaling // *Annual Review of Plant Biology*. 2018. Vol. 69. P. 209–236. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042817-040322.
13. Demidchik V. Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology // *Environmental and Experimental Botany*. 2015. Vol. 109. P. 212–228. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2014.06.021.
14. Zakshevskaya E. V., Kuksin S. V. Trends and forecast parameters of grain production, consumption and export development in Russia // *Naucnoe obozrenie: teoria i praktika [Scientific Review: Theory and Practice]*. 2021. Vol. 11. Iss. 8. P. 2314–2326. DOI: 10.35679/2226-0226-2021-11-8-2314-2326.
15. Main interregional center. Crop areas in the Russian Federation in 2022. [Electronic resource]. Access point: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Posev_2022.xlsx, free. (reference's date 04.09. 2023).
16. Biodiversity of Russian biomes. Plain biomes // Ed. by Ogureeva G. N. Moscow: Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, 2020. 623 p.
17. Paptsov A. G., Shelamova N. A. Global food security in terms of climate change. Moscow: Russian Academy of Sciences, 2018. 132 p.
18. Temirbekova S. K., Kulikov I. M., Afanasyeva Y. V., Beloshapkina O. O., Kalashnikova E. A., Kirakosyan R. N., Dokukin P. A., Kucher D. E., Latati M., Rebouh N. Y. The evaluation of winter wheat adaptation to climate change in the central non-black region of Russia: study of the gene pool resistance of wheat from the N.I. Vavilov Institute of Plant Industry (VIR) world collection to abiotic stress factors // *Plants*. 2021. Vol. 10. Art. No. 2337. DOI: 10.3390/plants10112337.
19. Zhukovsky P. M. Wheat in the USSR. Moscow: Selkhozgiz, 1957. 632 p.
20. Mukhitov L. A., Samuilov F. D. Drought resistance of different ecotypes of spring soft wheat in the forest-steppe of the Orenburg Cis-Urals // *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2007. Vol. 2. No. 1. P. 57–59.
21. Tsygankov V. I. Selection of adaptive spring wheat varieties for the conditions of arid steppe zones of Kazakhstan // *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2011. Vol. 2. No. 30. P. 46–50.
22. Mukhitov L. A., Samuilov F. D. The size of under-ear interstice and productivity of spring soft wheat varieties of different ecological groups in the forest-steppe of Orenburg region // *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2014. Vol. 9. No. 3. P. 135–138.
23. Batygina T. B. Bread grain. Leningrad: Nauka, 1987. 103 p.
24. Maslennikova D. R., Fatkhutdinova R. A., Bezrukova M. V., Allagulova Ch. R., Klyuchnikova E. O., Shakirova F. M. Mechanisms of protective action of salicylic acid on wheat plants under cadmium stress // *Agrohimiya*. 2013. No. 3. P. 72–79.

25. Bezrukova M. V., Kudoyarova G. R., Lubyanova A. R., Maslennikova D. R., Shakirova F. M. Influence of 24-epibrassinolide on water exchange of wheat varieties various in dry resistance under osmotic stress // Russian Journal of Plant Physiology. 2021. Vol. 68. P. 307–314. DOI: 10.1134/S1021443721010040.
26. Sharipova G. V., Veselov D. S., Kudoyarova G. R., Timergalin M. D., Wilkinson S. Effect of ethylene perception inhibitor on growth, water relations, and abscisic acid content in wheat plants under water deficit // Russian Journal of Plant Physiology. 2012. Vol. 59. No. 4. P. 573–580. DOI: 10.1134/S1021443712040127.
27. Misra H. R., Fridovich I. The univalent reduction of oxygen by reduced flavins and quinones // Journal of Biological Chemistry. 1972. Vol. 247. P. 188–192. DOI: 10.1016/S0021-9258(19)45773-6.
28. Minibayeva F. V., Gordon L. K., Kolesnikov O. P., Chasov A. V. Role of extracellular peroxidase in the superoxide production by wheat root cells // Protoplasma. 2001. Vol. 217. P. 125–128. DOI: 10.1007/BF01289421.
29. Maksimov I. V., Sorokan' A. V., Cherepanova E. A., Surina O. B., Troshina N. B., Yarullina L. G. Effects of salicylic and jasmonic acids on the components of pro/antioxidant system in potato plants infected with late blight // Russian Journal of Plant Physiology. 2011. Vol. 58. P. 299–306. DOI: 10.1134/S1021443711010109.
30. Bradford M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // Analytical Biochemistry. 1976. Vol. 72. P. 248–254. DOI: 10.1016/0003-2697(76)90527-3.
31. Avalbaev A., Allagulova Ch., Maslennikova D., Fedorova K., Shakirova F. Methyl jasmonate and cytokinin mitigate the salinity-induced oxidative injury in wheat seedlings // Journal of Plant Growth Regulation. 2021. Vol. 40. P. 1741–1752. DOI: 10.1007/s00344-020-10221-1.
32. Akhtyamova Z., Martynenko E., Arkhipova T., Seldimirova O., Galin I., Belimov A., Vysotskaya L., Kudoyarova G. Influence of plant growth-promoting rhizobacteria on the formation of apoplastic barriers and uptake of water and potassium by wheat plants // Microorganisms. 2023. Vol. 11. Art. No. 1227. DOI: 10.3390/microorganisms11051227.
33. Bhagyawant S. S., Narvekar D. T., Gupta N., Bhadkaria A., Koul K. K., Srivastava N. Variations in the antioxidant and free radical scavenging under induced heavy metal stress expressed as proline content in chickpea // Physiology and Molecular Biology of Plants. 2019. Vol. 25. P. 683–696. DOI: 10.1007/s12298-019-00667-3.
34. Kolupaev Yu. E., Kokorev A. I. Antioxidant system and plant resistance to water deficit // Fiziol. Rast. Genet. 2019. Vol. 51. No. 1. P. 28–54. DOI: 10.15407/frg2019.01.028.
35. Abid M., Tian Z., Ata-Ul-Karim S. T., Liu Y., Cui Y., Zahoor R., Jiang D., Dai T. Improved tolerance to post-anthesis drought stress by pre-drought priming at vegetative stages in drought-tolerant and sensitive wheat cultivars // Plant Physiology and Biochemistry. 2016. Vol. 106. P. 218–227. DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.05.003.

UDC 633.111.1:632.112

Avalbaev A. M., Yuldashev R. A., Lubyanova A. R., Plotnikov A. A., Yakupova A. I.,
Gerasimov N. A., Allagulova Ch. R.

EFFECT OF MODEL DROUGHT ON PHYSIO-BIOCHEMICAL PARAMETERS OF DIFFERENT WHEAT ECOTYPES AT THE INITIAL STAGE OF ONTOGENESIS

Summary. *The investigation of drought tolerance mechanisms in plants is extremely important, especially at the initial stage of ontogenesis, during which they are most sensitive to drought. Wheat (*Triticum aestivum* L.) is an important crop that has two ecotypes differing in their adaptation strategies to drought: West Siberian forest-steppe and Volga steppe. The goal of the work was to analyze the growth parameters, water relations and activity of antioxidant enzymes of 'Zauralskaya Zhemchuzhina' (ZZh, West Siberian forest-steppe ecotype) and 'Ekada 70' (E-70, Volga steppe ecotype) wheat cultivars at the initial stage of ontogenesis to identify the role of the antioxidant system in the drought tolerance under model drought. The studies were conducted in 2023 using generally accepted physio-biochemical methods of analysis. It was found that drought inhibited the growth of seedlings: the relative growth rate in E-70 plants decreased by 21 %, while in ZZh seedlings – by 42 %. Under drought, a decrease in transpiration rate, water content, and osmotic potential was observed in representatives of both ecotypes, while E-70 seedlings coped more effectively with water*

shortage. Drought caused an increase in the concentration of superoxide anion, which was accompanied by an increase in the activities of antioxidant enzymes. In E-70 plants the values of superoxide dismutase and peroxidase exceeded the control values by 2.3 and 2.0 times, while in ZZh cultivar – by 2.0 and 1.8 times. Drought-induced oxidative stress increased malondialdehyde (MDA) and electrolyte leakage levels. Oxidative damage was less pronounced in E-70 seedlings: the levels of MDA and electrolyte leakage increased in this cultivar by 1.7 times, in ZZh – by 2 times. Thus, seedlings of the Volga steppe ecotype are characterized by higher drought tolerance at the initial stage of ontogenesis in comparison with representatives of the West Siberian forest-steppe ecotype, which may be due to their more powerful antioxidant defense system leading to lesser disturbances in growth and water relations.

Keywords: *wheat (Triticum aestivum L.), ecotypes, drought, water relations, antioxidant system.*

Авальбаев Азамат Мэлсович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярных механизмов устойчивости растений к стрессам, Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября 71; e-mail: avalbaev@yahoo.com.

Юлдашев Руслан Адикович, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории молекулярных механизмов устойчивости растений к стрессам, Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября 71; e-mail: yuldashevra@gmail.com.

Лубянова Алсу Ринатовна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории молекулярных механизмов устойчивости растений к стрессам, Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября 71; e-mail: lubyanova555@mail.ru.

Плотников Антон Александрович, младший научный сотрудник лаборатории молекулярных механизмов устойчивости растений к стрессам, Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября 71; e-mail: plotnikow87@mail.ru.

Якупова Альбина Ильфатовна, младший научный сотрудник лаборатории молекулярных механизмов устойчивости растений к стрессам, Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября 71; e-mail: albinayakupovaa@yandex.ru.

Герасимов Никита Александрович, старший лаборант лаборатории молекулярных механизмов устойчивости растений к стрессам, Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября 71; e-mail: nikita-g-2000@yandex.ru.

Аллагулова Чулпан Рифовна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории молекулярных механизмов устойчивости растений к стрессам, Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября 71; e-mail: allagulova-chulpan@rambler.ru.

Avalbaev Azamat Melsovich, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher at the Laboratory of molecular mechanisms of plant stress resistance, Institute of Biochemistry and Genetics – subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IBG UFRC RAS); 71, Prospect Otyabrya, Ufa, 450054, Russia; e-mail: avalbaev@yahoo.com.

Yuldashev Ruslan Adikovich, Cand. Sc. (Biol.), researcher at the Laboratory of molecular mechanisms of plant stress resistance, Institute of Biochemistry and Genetics – subdivision of the Ufa Federal Research

Centre of the Russian Academy of Sciences (IBG UFRC RAS); 71, Prospect Octyabrya, Ufa, 450054, Russia; e-mail: yuldasheva@gmail.com.

Lubyanova Alsu Rinatovna, Cand. Sc. (Biol.), researcher at the Laboratory of molecular mechanisms of plant stress resistance, Institute of Biochemistry and Genetics – subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IBG UFRC RAS); 71, Prospect Octyabrya, Ufa, 450054, Russia; e-mail: lubyanova555@mail.ru.

Plotnikov Anton Aleksandrovich, junior researcher at the Laboratory of molecular mechanisms of plant stress resistance, Institute of Biochemistry and Genetics – subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IBG UFRC RAS); 71, Prospect Octyabrya, Ufa, 450054, Russia; e-mail: plotnikow87@mail.ru.

Yakupova Albina Ilfatovna, junior researcher at the Laboratory of molecular mechanisms of plant stress resistance, Institute of Biochemistry and Genetics – subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IBG UFRC RAS); 71, Prospect Octyabrya, Ufa, 450054, Russia; e-mail: albinayakupovaa@yandex.ru.

Gerasimov Nikita Aleksandrovich, senior laboratory assistant of the Laboratory of molecular mechanisms of plant stress resistance, Institute of Biochemistry and Genetics – subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IBG UFRC RAS); 71, Prospect Octyabrya, Ufa, 450054, Russia; e-mail: nikita-g-2000@yandex.ru.

Allagulova Chulpan Rifovna, Cand. Sc. (Biol.), researcher at the Laboratory of molecular mechanisms of plant stress resistance, Institute of Biochemistry and Genetics – subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IBG UFRC RAS); 71, Prospect Octyabrya, Ufa, 450054, Russia; e-mail: allagulova-chulpan@rambler.ru.

Дата поступления в редакцию – 06.09.2023.

Дата принятия к печати – 21.09.2023.

DOI 10.5281/zenodo.10131650

EDN KDBHHC

УДК 631.316.02

Божко И. В.¹, Камбулов С. И.^{1,2}, Пархоменко Г. Г.¹, Подлесный Д. С.^{1,2}

**ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧЕГО ОРГАНА
ПАРОВОГО КУЛЬТИВАТОРА**

¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»;

²ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

Реферат. В настоящее время осуществлять наблюдение за технологическим процессом с заданной частотой дискретизации данных при проведении экспериментальных исследований можно с применением цифровых измерительных систем, которые позволяют производить мониторинг и оценку параметров контролируемого технологического процесса. Одним из важнейших этапов в процессе получения высококачественного продовольственного зерна является обработка почвы, а наиболее высокие урожаи зерновых культур в засушливых условиях можно получить с применением в севообороте паровых полей. Известные сельскохозяйственные орудия для обработки почвы паровых полей не могут в полной мере обеспечить небольшую глубину обработки почвы в диапазоне 4–6 см без выноса влажных слоев на поверхность. В статье рассмотрена методика проведения экспериментальных исследований рабочего органа для обработки почвы паровых полей в летний период. Цель исследований – при помощи цифровых технологий определить тяговое сопротивление, затрачиваемое на технологическую операцию обработки почвы рабочим органом. Исследования проведены в отделе механизации растениеводства ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»» в 2023 г. на экспериментальной установке с применением тензометрической системы ZET 058. С помощью среды графического программирования SCADA ZETView разработана программа для проведения экспериментальных подсчетов энергетических показателей рабочих органов. Применение данной программы позволяет исключить получение градуировочных коэффициентов, тем самым обеспечивая преобразование аналоговых электрических сигналов тензодатчика в цифровую форму, а также воспроизведение подаваемой нагрузки с формированием выходного сигнала в ньютонах (Н). Также была произведена проверка точности воспроизводимых энергетических показателей, в результате которой установлено, что погрешность измерений составляет ± 19 Н, что соответствует допустимой погрешности измерений тензодатчика ± 2 кг.

Ключевые слова: методика проведения исследований, рабочий орган, тяговое сопротивление, графическое программирование, тензодатчик, градуировочный коэффициент.

Для цитирования: Божко И. В., Камбулов С. И., Пархоменко Г. Г., Подлесный Д. С. Применение цифровых технологий при проведении экспериментальных исследований рабочего органа парового культиватора // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3 (35). С. 23–32. EDN: KDBHHC. DOI 10.5281/zenodo.10131650.

For citation: Bozhko I. V., Kambulov S. I., Parkhomenko G. G., Podlesny D. S. Application of digital technologies during experimental studies of the working body of cultivator for fallow fields tillage // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3(35). P. 23–32. EDN: KDBHHC. DOI: 10.5281/zenodo.10131650.

Введение

Экспериментальные исследования, результаты которых подтверждены достоверными цифровыми показателями, являются одним из важнейших источников получения практических данных при проверке теоретических гипотез. Как отмечают авторы, осуществлять наблюдение за технологическим процессом с заданной частотой дискретизации данных можно с применением цифровых измерительных систем, которые позволяют производить мониторинг и оценку параметров контролируемого технологического процесса [1]. Применение цифровых технологий в процессе обработки данных, полученных в ходе экспериментальных исследований почвообрабатывающей техники, ведёт к дальнейшему её совершенствованию [2].

Одним из важнейших этапов в процессе получения продовольственного зерна высокого качества является обработка почвы. Наиболее высокие урожаи зерновых культур в засушливых условиях можно получить с применением в севообороте паровых полей [3–5]. В зависимости от почвенно-климатических условий наиболее частое применение находят технологии обработки паровых полей, различающиеся по способу основной обработки (отвальная, безотвальная) и по времени её проведения. Так, для черных паров основную обработку почвы проводят в осенний период, а для ранних паров – в весенний период непосредственно в год посева озимых [6, 7]. Следует отметить, что паровые поля при этом нуждаются в мероприятиях по уходу и в летний период. Одним из основных приемов обработки почвы является культивация на небольшую глубину для уничтожения сорной растительности.

Современные сельскохозяйственные машины для обработки почвы оснащаются рабочими органами в виде стрельчатых лап [8–11], которые не могут обеспечить небольшую глубину обработки почвы 4–6 см без выноса влажных слоев на поверхность, что приводит к иссушению верхнего горизонта почвы и не обеспечивает условий для последующего посева семян во влажную почву. Поэтому для снижения испарений почвенной влаги из верхних слоев, уничтожения сорной растительности, а также накопления влаги в почве даже из атмосферного воздуха при отсутствии осадков, существует необходимость создания рабочего органа для обработки паровых полей в летний период на глубину 4–6 см.

Цель исследований – при помощи цифровых технологий определить тяговое сопротивление, затрачиваемое на технологическую операцию обработки почвы рабочим органом.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в отделе механизации растениеводства ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»» в 2023 г. Объект исследования – рабочий орган для обработки почвы паровых полей в летний период. Предмет исследования – воздействие тягового сопротивления рабочего органа на выполнение технологического процесса обработки почвы.

Тип почвы по механическому составу – чернозем обыкновенный слабогумусный мощный легкоглинистый на лессовидных глинах.

Был разработан рабочий орган для сплошной обработки почвы паровых полей в летний период (рисунок 1) [12], который содержит стойку, в нижней части стойки установлен с возможностью замены долотообразный нож, за долотообразным ножом смонтирован съемный держатель, на держателе установлены с возможностью замены левостороннее и правостороннее плоскорежущие крылья. Конструкция рабочего органа выполнена с возможностью регулировки угла крошения односторонних плоскорежущих крыльев в диапазоне от 0 до 10 °.

Исследования по определению энергетических показателей рабочего органа для сплошной обработки почвы паровых полей в летний период проводили на

экспериментальной установке (рисунок 2) [13] с применением тензометрической системы ZET 058. В поле размечали опытные участки для проведения экспериментальных исследований. Каждый участок делили на две части: 20 м – для разгона трактора и разворота, 50 м – непосредственно экспериментальный, на котором производили снятие показаний с измерительного датчика в трех повторностях.

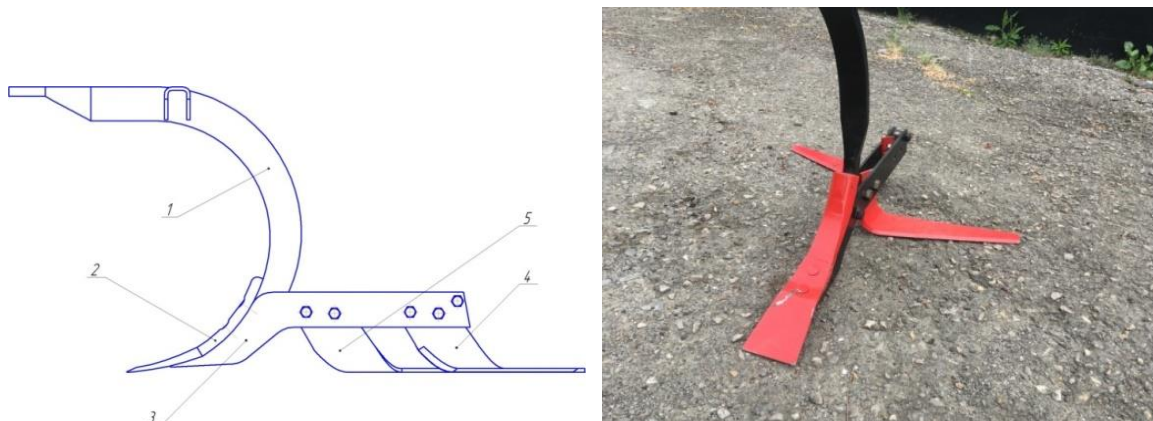


Рисунок 1 – Рабочий орган для обработки почвы паровых полей в летний период

Примечание. 1 – стойка рабочего органа; 2 – долотообразный нож; 3 – съемный держатель; 4 – левостороннее плоскорежущее крыло; 5 – правостороннее плоскорежущее крыло.



Рисунок 2 – Экспериментальная установка в агрегате с трактором TERRION ATM 3180

В качестве измерительного датчика для определения тягового сопротивления использовали тензодатчик силы растяжения и сжатия ТЕНЗО–М С2Н–2–С3 (рисунок 3), установленный по линии тяги в шарнирном механизме крепления экспериментальной установки.

Тензометрическая система представляет собой аппаратно-программный комплекс на базе многоканальной системы сбора данных ZET 058 и программного обеспечения ZETLab и ZETView производства Зеленоградской электротехнической лаборатории. Принцип действия основан на преобразовании аналоговых электрических сигналов тензометрического датчика и тензорезисторов, (датчиков с выходом по напряжению) в цифровую форму и передачи измерительной информации по цифровым интерфейсам на ПК.



Рисунок 3 – Тензодатчик силы растяжения и сжатия ТЕНЗО–М С2Н–2–С3

Результаты и их обсуждение

В ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»» с использованием среды графического программирования SCADA ZETView была разработана программа для проведения исследований показателей тягового сопротивления с одновременным формированием массивов данных, получаемых с датчика, и построением простого графика изменения показателей тягового сопротивления с учетом времени проведения измерений. Структурная схема программы с применением различных компонентов приведена на рисунке 4.

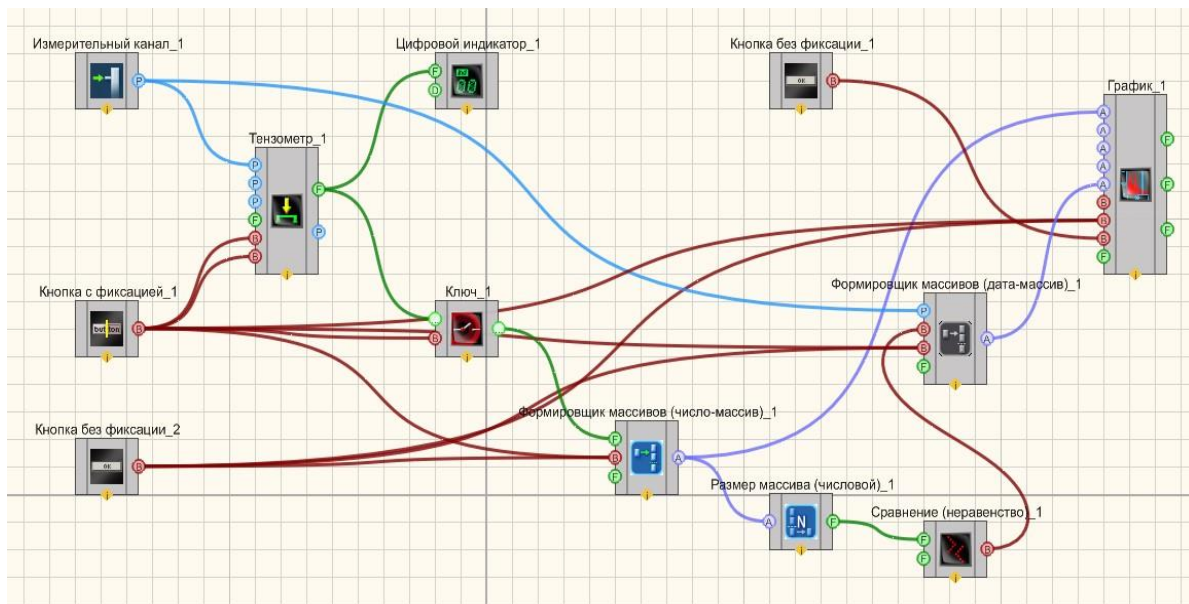


Рисунок 4 – Структурная схема программы для проведения исследований тягового сопротивления

Структурная схема включает следующие компоненты:

1. «Измерительный канал_1», в котором произведена настройка измерительного канала тензометрической системы ZET 058 с подключенным тензодатчиком силы растяжения и сжатия ТЕНЗО–М С2Н–2–С3.
2. «Тензометр_1» – производит измерение нагрузки, подаваемой от тензодатчика в компоненте «Измерительный канал_1». К

3. «Кнопка с фиксацией_1» обозначается в программе «ВКЛ» и «ВЫКЛ» и предназначена для запуска и остановки измерений показателей тягового сопротивления.

4. «Цифровой индикатор_1» отображает текущее измеряемое значение тягового сопротивления.

5. «Формировщик массивов (число-массив)_1», «Формировщик массивов (дата-массив)_1», «Размер массива (числовой)_1» и «Сравнение (неравенство)_1» предназначены для подгрузки измеряемых показателей тягового сопротивления в массив данных с одновременным применением поправочных коэффициентов, заданных для измерительного канала и сравнением текущих показателей данных с нулевыми значениями. Иными словами, данные компоненты программы позволяют исключить получение градуировочных коэффициентов, тем самым обеспечивая преобразование аналоговых электрических сигналов тензодатчика в цифровую форму, а также воспроизведение подаваемой нагрузки с формированием выходного сигнала в ньютонах (Н).

6. «График_1» служит для отображения сформированных массивов данных в виде графика в режиме самописца.

7. «Кнопка без фиксации_1» служит для сохранения в файл полученных показателей тягового сопротивления для дальнейшей их обработки и обозначается в программе «ЗАПИСЬ В ФАЙЛ».

8. «Кнопка без фиксации_2» предназначен для очистки данных от предыдущих измерений и обозначается в программе «СБРОС».

9. «Ключ_1» осуществляет остановку режима самописца при формировании массива данных.

Программа, скомпилированная в .exe файл, выглядит следующим образом (рисунок 5).



Рисунок 5 – Скриншот программы для проведения исследований тягового сопротивления

Тензометрическая система ZET 058 обеспечивает питание первичных преобразователей как постоянным, так и переменным током, благодаря чему может использоваться для сбора и обработки сигналов при лабораторных или полевых исследованиях.

Так как возникла необходимость использования разработанной программы для проведения исследований тягового сопротивления, тензодатчик стал нуждаться в проверке точности воспроизводимых показателей. Проверку тензодатчика осуществляли на специальном приспособлении (рисунок 6) с применением электронного универсального динамометра МЕГЕОН, в трех повторностях: до, во время и после опытов.



А



Б

Рисунок 6 – Проверка тензодатчика

Примечание. А – тензодатчик силы растяжения и сжатия ТЕНЗО–М С2Н–2–С3, датчик динамометра МЕГЕОН; Б – ПК, тензометрическая система ZET–058, динамометр МЕГЕОН.

На стенде вращением рукоятки через коническое зацепление шестерён перемещается винт, к которому присоединен тензодатчик и динамометр, связанные посредством цепи с пальцем, усилие натяжения которой задает нагрузку. Сигналы от тензодатчика регистрировали в разработанной программе для проведения исследований тягового сопротивления в ньютонах (Н) и на цифровой панели динамометра в

килоньютонах (кН). В результате поверки точности воспроизводимых показателей тягового сопротивления установлено, что погрешность измерений составляет ± 19 Н, что соответствует допустимой погрешности измерений тензодатчика ± 2 кг.

При движении установки по экспериментальному участку аналоговые данные тягового сопротивления, считываемые с тензодатчика, передаются по каналу в тензометрическую систему ZET 058, далее оцифрованные данные подаются в ПК, где с применением разработанной программы для проведения исследований тягового сопротивления фиксируются в формате .dtx. Данный формат файлов совместим с программой ZETLab, в которой производится первичная обработка полученных данных и конвертирование в формат .xls, который совместим с программами Microsoft Excel и STATISTICA.

Фрагмент сформированного массива данных тягового сопротивления рабочего органа для обработки почвы паровых полей в летний период представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Фрагмент сформированного массива данных показателей тягового сопротивления

Формировщик массивов (дата-массив)_1	Формировщик массивов (число массив)_1
2023.05.24 10:30:00,000	0
2023.05.24 10:30:01,000	0,316406
2023.05.24 10:30:02,000	-2,39844
2023.05.24 10:30:03,000	-2,79785
2023.05.24 10:30:03,000	803,067
2023.05.24 10:30:05,000	1276,85
2023.05.24 10:30:06,000	595,623
2023.05.24 10:30:07,000	1105,17
2023.05.24 10:30:08,000	1361,02
2023.05.24 10:30:09,000	1728,22
2023.05.24 10:30:09,000	1187,17
2023.05.24 10:30:10,000	1670,83
2023.05.24 10:30:11,000	2721,44
2023.05.24 10:30:13,000	861,771
2023.05.24 10:30:14,000	203,48
2023.05.24 10:30:15,000	139,28
2023.05.24 10:30:16,000	1061,04

Накопление данных в массиве зависит от частоты дискретизации тензодатчика программным оборудованием. Данные числовые значения показателей тягового сопротивления представляются в программе в ньютонах (Н). Дальнейшая обработка массивов данных выполняется в соответствии с планом экспериментальных исследований.

Выводы

В ходе исследований посредством использования среды графического программирования SCADA ZETView была разработана программа для проведения измерений показателей тягового сопротивления с одновременным формированием массивов данных, получаемых с датчика, и построением простого графика изменения показателей тягового сопротивления с учетом времени проведения измерений.

Применение разработанной программы позволяет исключить получение градуировочных коэффициентов, тем самым обеспечивая преобразование аналоговых электрических сигналов тензодатчика в цифровую форму, а также воспроизведение подаваемой нагрузки с формированием выходного сигнала в ньютонах (Н).

При проведении поверки точности воспроизводимых показателей тягового сопротивления установлено, что погрешность измерений составляет ± 19 Н что соответствует допустимой погрешности измерений тензодатчика ± 2 кг.

Литература

1. Устроев А. А., Калинин А. Б., Мурзаев Е. А. Анализ цифровых измерительных систем для определения параметров почвенного состояния // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 4(97). С. 19–28. DOI: 10.24411/0131-5226-2018-10085.
2. Лобачевский Я. П., Старовойтов С. И., Ахалая Б. Х., Ценч Ю. С. Цифровые технологии в почвообработке // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 1(30). С. 191–197.
3. Belobrov V. P., Yudin S. S., Yaroslavtseva N. V., Yudina A. V., Dridiger V. K., Stukalov R. S., Kluev N. N., Zamotaev I. V., Ermolaev N. R., Ivanov A. L., Kholodov V. A. Changes in physical properties of chernozems under the impact of No-till technology till // Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53. P. 968–977. DOI: 10.1134/S1064229320070029.
4. Nikitin D. A., Ivanova E. A., Zhelezova A. D., Semenov M. V., Gadzhumarov R. G., Tkhakakhova A. K., Chernov T. I., Ksenofontova N. A., Kutovaya O. V. Assessment of the impact of No-till and conventional tillage technologies on the microbiome of southern agrochernozems // Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53. P. 1782–1793. DOI: 10.1134/S106422932012008X.
5. Gómez-Muñoz B., Jensen L. S., Munkholm L., Olesen J. E., Hansen E. M., Bruun S. Long-term effect of tillage and straw retention in conservation agriculture systems on soil carbon storage // Soil Science Society of America Journal. 2021. Vol. 85. Iss. 5. P. 1465–1478. DOI: 10.1002/saj2.20312.
6. Parajuli B., Ye R., Luo M., Ducey T. F., Park D., Smith M., Sigua G. Contrasting carbon and nitrogen responses to tillage at different soil depths: an observation after 40-year of tillage management // Soil Science Society of America Journal. 2021. Vol. 85. Iss. 4. P. 1256–1268. DOI: 10.1002/saj2.20277.
7. Kholodov V. A., Belobrov V. P., Yaroslavtseva N. V., Yashin M. A., Yudin S. A., Ermolaev N. R., Dridiger V. K., Ilyin B. S., Lazarev V. I. Influence of No-till system on the distribution of organic carbon and nitrogen by aggregate size fractions in protocalcic, endocalcic, and pantocalcic chernozems // Eurasian Soil Science. 2021. Vol. 54. P. 285–290. DOI: 10.1134/S1064229321020071.
8. Artemyeva Z. S., Danchenko N. N., Kirillova N. P., Masyutenko N. P., Dubovik E. V., Kuznetsov A. V., Kogut B. M. The effect of erosion processes on the content and composition of organic matter in macro- and microaggregates of haplic chernozem // Eurasian Soil Science. 2021. Vol. 54. P. 1659–1667. DOI: 10.1134/S1064229321110028.
9. Askari M., Komarizade M. H., Nikbakht A. M., Nobakht N., Teimourlou R. F. A novel three-point hitch dynamometer to measure the draft requirement of mounted implements // Research in Agricultural Engineering. 2011. Vol. 57. Iss. 4. P. 128–136. DOI: 10.17221/16/2011-RAE.
10. Al-Suhaibani S. A., Al-Janobi A. A., Al-Majhadi Y. N. Development and evaluation of tractors and tillage implements instrumentation system // American Journal of Engineering and Applied Sciences. 2010. Vol. 3. Iss. 2. P. 363–371. DOI: 10.3844/ajeassp.2010.363.371.
11. Бартенев И. М., Кургалин С. Д., Туровский Я. А., Лысыч М. Н. Перспективная конструкция многофункционального культиватора для склонов с автоматической биометрически корректируемой системой контроля поперечной устойчивости // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5. № 2(18). С. 158–165. DOI: 10.12737/111990.
12. Патент РФ № 214145 «Рабочий орган для сплошной обработки почвы паровых полей в летний период» // Авторы: Камбулов С. И., Рыков В. Б., Божко И. В., Подлесный Д. С. Патентообладатель: ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской». 13.10.2022.
13. Божко И. В., Пархоменко Г. Г., Громаков А. В., Максименко В. А., Камбулов С. И. Экспериментальная установка для исследования почвообрабатывающих рабочих органов // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 6. С. 37–42.

References

1. Ustroeve A. A., Kalinin A. B., Murzaev E. A. Analysis of digital measurement systems to determine the soil state parameters // Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2018. No. 4(97). P. 19–28. DOI: 10.24411/0131-5226-2018-10085.
2. Lobachevsky Ya. P., Starovoitov S. I., Akhalaya B. Kh., Tsench Yu. S. Digital technologies in pochvoobrabotke // Innovations in agriculture. 2019. No. 1(30). P. 191–197.
3. Belobrov V. P., Yudin S. S., Yaroslavtseva N. V., Yudina A. V., Dridiger V. K., Stukalov R. S., Kluev N. N., Zamotaev I. V., Ermolaev N. R., Ivanov A. L., Kholodov V. A. Changes in physical properties of

chernozems under the impact of No-till technology // Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53. P. 968–977. DOI: 10.1134/S1064229320070029.

4. Nikitin D. A., Ivanova E. A., Zhelezova A. D., Semenov M. V., Gadzhumarov R. G., Tkhakakhova A. K., Chernov T. I., Ksenofontova N. A., Kutovaya O. V. Assessment of the impact of No-till and conventional tillage technologies on the microbiome of southern agrochernozems // Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53. P. 1782–1793. DOI: 10.1134/S106422932012008X.

5. Gómez-Muñoz B., Jensen L. S., Munkholm L., Olesen J. E., Hansen E. M., Bruun S. Long-term effect of tillage and straw retention in conservation agriculture systems on soil carbon storage // Soil Science Society of America Journal. 2021. Vol. 85. Iss. 5. P. 1465–1478. DOI: 10.1002/saj2.20312.

6. Parajuli B., Ye R., Luo M., Ducey T. F., Park D., Smith M., Sigua G. Contrasting carbon and nitrogen responses to tillage at different soil depths: an observation after 40-year of tillage management // Soil Science Society of America Journal. 2021. Vol. 85. Iss. 4. P. 1256–1268. DOI: 10.1002/saj2.20277.

7. Kholodov V. A., Belobrov V. P., Yaroslavtseva N. V., Yashin M. A., Yudin S. A., Ermolaev N. R., Dridiger V. K., Ilyin B. S., Lazarev V. I. Influence of no-till system on the distribution of organic carbon and nitrogen by aggregate size fractions in protocalcic, endocalcic, and pantocalcic chernozems // Eurasian Soil Science. 2021. Vol. 54. P. 285–290. DOI: 10.1134/S1064229321020071.

8. Artemyeva Z. S., Danchenko N. N., Kirillova N. P., Masyutenko N. P., Dubovik E. V., Kuznetsov A. V., Kogut B. M. The effect of erosion processes on the content and composition of organic matter in macro- and microaggregates of haplic chernozem // Eurasian Soil Science. 2021. Vol. 54. P. 1659–1667. DOI: 10.1134/S1064229321110028.

9. Askari M., Komarizade M. H., Nikbakht A. M., Nobakht N., Teimourlou R. F. A novel three-point hitch dynamometer to measure the draft requirement of mounted implements // Research in Agricultural Engineering. 2011. Vol. 57. Iss. 4. P. 128–136. DOI: 10.17221/16/2011-RAE.

10. Al-Suhaibani S. A., Al-Janobi A. A., Al-Majhadi Y. N. Development and evaluation of tractors and tillage implements instrumentation system // American Journal of Engineering and Applied Sciences. 2010. Vol. 3. Iss. 2. P. 363–371. DOI: 10.3844/ajeassp.2010.363.371.

11. Bartenev I. M., Kurgalin S. D., Turovsky Ya. A., Lysych M. N. Promising design multipurpose cultivator to slopes with automatic corrected biometric control system lateral stability // Forestry Engineering Journal. 2015. Vol. 5. No. 2(18). P. 158–165. DOI: 10.12737/111990.

12. Patent RF No. 214145 “Working body for continuous cultivation of the soil of fallow fields in the summer” // Authors: Kambulov S. I., Rykov V. B., Bozhko I. V., Podlesny D. S. Patent holder: State Scientific Establishment “Agricultural research center “Donskoy””. 13.10.2022.

13. Bozhko I. V., Parkhomenko G. G., Gromakov A. V., Maksimenko V. A., Kambulov S. I. The experimental setup for the study of soil-working bodies // Tractors and Agricultural Machinery. 2017. No. 6. P. 37–42.

UDC 631.316.02

Bozhko I. V., Kambulov S. I., Parkhomenko G. G., Podlesny D. S.

APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES DURING EXPERIMENTAL STUDIES OF THE WORKING BODY OF CULTIVATOR FOR FALLOW FIELDS TILLAGE

Summary. At present, it is possible to monitor the technological process with a given data sampling rate during experimental studies using digital measuring systems that allow monitoring and evaluating the parameters of the controlled technological process. One of the most important stages in the process of obtaining high-quality food grains is tillage, and the highest yields of grain crops in arid conditions can be obtained using fallow fields in crop rotation. Well-known agricultural tools for fallow fields tillage cannot ensure tillage to a depth of 4–6 cm without removing wet layers to the surface. The article considers the methodology for conducting experimental studies of the working body for tillage of fallow fields in the summer. The purpose of the research was to determine the traction resistance spent on the technological operation of soil tillage by the working body using digital technologies. The studies were carried out at the Department of Mechanization of Crop Production – structural unit of the SSE Agricultural Research Center “Donskoy” in 2023 on the experimental installation using strain gauge system ZET 058. In the course of the studies, using SCADA ZETView graphic programming environment, the program for experimental calculation of energy indicators of the working bodies was developed. Application of this program makes it possible to exclude obtaining of calibration coefficients, thereby ensuring

conversion of analog electrical signals of the load cell into digital form, as well as reproduction of the applied load with the formation of the output signal in newtons (N). The accuracy of reproducible energy indicators was also verified. As a result, it was found that the measurement error is ± 19 N, which corresponds to the permissible measurement error of the load cell ± 2 kg.

Keywords: *research methodology, working body, traction resistance, graphic programming, load cell, calibration coefficient.*

Божко Игорь Владимирович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела механизации растениеводства, структурное подразделение «СКНИИМЭСХ», ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14; e-mail: i.v.bozhko@mail.ru.

Камбулов Сергей Иванович, доктор технических наук, главный научный сотрудник отдела механизации растениеводства, структурное подразделение «СКНИИМЭСХ», ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14; профессор кафедры "Технологии и оборудование переработки продукции АПК" ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», 344003, Россия, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1; e-mail:kambulov.s@mail.ru.

Пархоменко Галина Геннадьевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела механизации растениеводства, структурное подразделение «СКНИИМЭСХ», ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14; e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru.

Подлесный Дмитрий Сергеевич, ведущий инженер отдела механизации растениеводства, структурное подразделение «СКНИИМЭСХ», ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14; старший преподаватель кафедры "Технологии и оборудование переработки продукции АПК" ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», 344003, Россия, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1; e-mail: podlesniy.dmitri@yandex.ru.

Bozhko Igor Vladimirovich, Cand. Sc. (Tech.), senior researcher of the Department of mechanization of crop production, structural unit SKNIIMESH, SSE Agricultural Research Center “Donskoy”; 14, Lenina str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; e-mail: i.v.bozhko@mail.ru.

Kambulov Sergey Ivanovich, Dr. Sc. (Tech.), chief researcher of the Department of mechanization of crop production, structural unit SKNIIMESH, SSE Agricultural Research Center “Donskoy”; 14, Lenina str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; professor of the Department “Technologies and equipment for processing agricultural products”, FSBEI VO “Don State Technical University”; 1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, Rostov Region, 344003, Russia; e-mail: kambulov.s@mail.ru.

Parkhomenko Galina Gennadievna, Cand. Sc. (Tech.), leading researcher of the Department of mechanization of crop production, structural unit SKNIIMESH, SSE Agricultural Research Center “Donskoy”; 14, Lenina str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru.

Podlesny Dmitry Sergeevich, leading engineer of the department of mechanization of crop production, structural unit SKNIIMESH, SSE Agricultural Research Center “Donskoy”; 14, Lenina str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; senior lecturer of the Department “Technologies and equipment for processing agricultural products”, FSBEI VO “Don State Technical University”; 1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, Rostov Region, 344003, Russia; e-mail: podlesniy.dmitri@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 18.07.2023.

Дата принятия к печати – 13.09.2023.

DOI 10.5281/zenodo.10134307

EDN LTPLSK

УДК 579.64:663.31/.37

Гурьев Г. П.¹, Суворова Г. Н.¹, Пташник О. П.², Якубовская А. И.², Каменева И. А.²

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ НА СТРУКТУРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИМБИОЗА (КЛУБЕНЬКИ) И УРОЖАЙНОСТЬ ЧЕЧЕВИЦЫ В УСЛОВИЯХ ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ И РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур»;

²ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. Чечевица *Lens culinaris Medik.* известна человеку с древних времен и традиционно ценится как источник энергии, белка, минералов, витаминов, пищевых волокон. Важнейшей биологической особенностью чечевицы, как и других бобовых культур, является её способность устанавливать симбиотические связи с клубеньковыми бактериями семейства *Rhizobiaceae*. Цель исследований заключалась в испытании инновационных биопрепаратов, разработанных в ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», на сортах чечевицы (*Lens culinaris Medik.*) селекции ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур» в различных почвенно-климатических условиях и выборе наиболее подходящих для увеличения урожая. Исследования проведены в 2020–2022 гг. в ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур» (ФНЦ ЗБК, Орловская область), а также ФГБУН «НИИСХ Крыма» (Республика Крым) в условиях полевых опытов. Используемые биопрепараты – Ризобин^{агро} (на основе симбиотических азотфиксирующих бактерий) и Микробиоком^{агро}, включающий Ризобин^{агро}, Фосфостим^{агро} (на основе бактерий, мобилизующих труднодоступные фосфаты) и Биопрофид^{агро} (на основе микроорганизмов, подавляющих рост фитопатогенных грибов и бактерий), а также чечевица двух сортов Аида и Восточная. В условиях Орловской области в целом урожайность чечевицы (за исключением 2020 г.) была существенно выше, чем в Крыму. Применение Ризобин^{агро} в 2020–2022 гг. в Орловской области способствовало повышению урожайности зерна чечевицы сорта Аида на 0,2 т/га, сорта Восточная – 0,12 т/га. В Крыму положительная тенденция для двух сортов отмечена при применении комплексного бактериального препарата Микробиоком^{агро}. Максимальные прибавки урожая по сортам составляли 0,18 т/га и 0,19 т/га соответственно. Предпосевная инокуляция семян чечевицы сорта Аида в условиях Крыма способствовала увеличению количества и соответственно массы клубеньков на растениях в два раза (24–28 шт., при 12 шт. в контрольном варианте); сорта Восточная – 1,5 раза (32–33 шт., при 23 шт. в контроле).

Ключевые слова: чечевица (*Lens culinaris Medik.*), сорт, биопрепараты, симбиотическая азотфиксация, гидротермический коэффициент.

Для цитирования: Гурьев Г. П., Суворова Г. Н., Пташник О. П., Якубовская А. И., Каменева И. А. Оценка влияния биопрепаратов на структурные элементы симбиоза (клубеньки) и урожайность чечевицы в условиях Орловской области и Республики Крым // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3 (35). С. 33–41. EDN: LTPLSK. DOI: 10.5281/zenodo.10134307.

For citation: Guryev G. P., Suvorova G. N., Ptashnik O. P., Yakubovskaya A. I., Kameneva I. A. Evaluation of the effect of biological products on the structural elements of symbiosis (nodules) and yield of lentils under conditions of the Orel region and the Republic of Crimea // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3(35). P. 33–41. EDN: LTPLSK. DOI: 10.5281/zenodo.10134307.

Введение

Чечевица *Lens culinaris* Medik. известна человеку с древних времен и традиционно ценится как источник энергии, белка, минералов, витаминов, пищевых волокон [1–3]. С 60-х гг. производство ее ежегодно увеличивается – от 1 млн т в 1961 г. до 5,6 млн т в 2021 г. [4, 5]. Основными производителями зерна чечевицы являются Канада, Индия, Австралия, Турция. В Российской Федерации интерес к этой культуре возобновился в последнее десятилетие: если в 2010 г. в России было произведено 25,3 тыс. т семян чечевицы, то в 2021 г. получено 161,3 тыс. т семян [5].

Важнейшей биологической особенностью чечевицы, как и других бобовых культур, является её способность в симбиозе с клубеньковыми бактериями семейства Rhizobiaceae удовлетворять свои потребности в азоте на 50–70 % за счёт азотфиксации из воздуха. К примеру, белорусскими учёными установлено, что количество симбиотического азота у сорта чечевицы Рауза (селекция ФГБУН «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур») (ФНЦЗБК) составило 40 кг/га [6]. Совместное применение препаратов на основе ризобияльных и ризосферных ассоциативных микроорганизмов в условиях предгорной зоны Кабардино-Балкарии позволило в 2,0–3,5 раза увеличить активность симбиотической деятельности в ризосферной части растений чечевицы и увеличить продуктивность агроценоза на 40–60 % [7]. Применение полифункциональных микробных препаратов в Крыму повышало урожайность бобовых на 10–40 %, а содержание белка – на 2–6 % [8, 9].

Учитывая, что чечевица является давно возделываемой культурой, в почве могут присутствовать так называемые «дикие» или спонтанные клубеньковые бактерии. Кроме того, чечевица не имеет строгой избирательности к другим видам клубеньковых бактерий, как например, горох, чина, кормовые бобы, вика, которые обладают высокой вирулентностью, конкурентоспособностью, но меньшей эффективностью, и могут колонизировать корни чечевицы, нивелируя эффект от инокуляции микробными препаратами [10, 11].

Цель исследований – испытание инновационных биопрепаратов, разработанных в НИИСХ Крыма на сортах чечевицы селекции ФНЦЗБК в различных почвенно-климатических условиях и выборе наиболее подходящих для увеличения урожая.

Материал и методы исследований

Исследования были проведены в течение 2020–2022 гг. на полях ФГБНУ «ФНЦ зернобобовых и крупяных культур» (Орловская область, Орловский район, п. Стрелецкий) и ФГБУН «НИИСХ Крыма» (Республика Крым, Красногвардейский район, с. Клепонино).

Климат Орловского района характеризуется как умеренно-континентальный со средней годовой температурой +8,3 °С и среднегодовым количеством осадков 520–630 мм. Почвы участков проведения опытов тёмно-серые лесные, тяжелосуглинистые, со следующими агрохимическими показателями: P₂O₅ – 14,0–15,5 мг/100 г почвы (содержание повышенное), K₂O – 12,1–12,3 мг/100 г почвы по Кирсанову (содержание повышенное), гумус – 5,4 % (содержание среднее), рН_{сол.} 5,4–5,6 (среднекислая).

Климат района расположения опытов в Крыму степной, умеренно холодный, полусухой, континентальный, с большими годовыми и суточными колебаниями температуры. Среднегодовая температура воздуха составляет + 9,8–10,4 °С. Годовая сумма осадков 340–418 мм. Почва опытного участка – чернозём южный, малогумусный (гумуса 2,26 %), легко суглинистый. Содержание подвижного фосфора составляет 4,6–6,0 мг/100 г почвы (низкое), обменного калия – 32–36 мг/100 г почвы (очень высокое).

Материалом для исследований служили два сорта чечевицы – Аида и Восточная селекции ФГБНУ ФНЦ ЗБК. Предпосевную обработку семян проводили

биопрепаратами, разработанными в отделе сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «НИИСХ Крыма»: Ризобин^{азро} (препарат на основе высокоэффективных азотфиксирующих штаммов клубеньковых бактерий) [11] и Микробиоком^{азро} (универсальный бактериальный комплекс, включающий симбиотические, фосфатмобилизующие и биопротекторные микроорганизмы). Основой микробных препаратов являются штаммы живых бактериальных культур, зарегистрированные в Крымской коллекции микроорганизмов ФГБУН «НИИСХ Крыма» (<http://skprf.ru/usu/507484/>). Семена контрольного варианта не обрабатывали микробными препаратами.

Исследования проводили в зонах, резко отличающихся по климату и почвенному плодородию. Крым отличается от Орловской области не только сухим и жарким вегетационным периодом, но и невысоким плодородием почв с низким содержанием гумуса и фосфора. В условиях Орловской области, входящей в состав севера Чернозёмной зоны с умеренно-континентальным климатом, в июне–июле случаются почвенные и атмосферные засухи. К примеру, в 2021 г. гидротермический коэффициент (ГТК) в июне составил 0,49 (сильная засушливость), а в июле – 0,92 (засушливость). Для Крыма характерен засушливый период от середины апреля до середины мая, при ГТК = 0,49–0,79. Затем засушливый период снова продолжается в июне. В период плодообразования–созревания у чечевицы (конец июня–начало июля) происходит выпадение осадков и ГТК на уровне 1,13–1,99. Полевые опыты проводили в 2020–2022 гг., используемые биопрепараты – Ризобин^{азро} (на основе симбиотических азотфиксирующих бактерий) и Микробиоком^{азро}, включающий Ризобин^{азро}, Фосфостим^{азро} (на основе бактерий, мобилизующих труднодоступные фосфаты) и Биопрофид^{азро} (на основе микроорганизмов, подавляющих рост фитопатогенных грибов и бактерий), а также чечевица двух сортов – Аида и Восточная.

В ФНЦЗБК опыты закладывали по черному пару в 2020 и 2021 гг. и по озимой пшенице в 2022 г. Посев чечевицы при норме 2,2–2,5 млн всхожих семян на гектар проводили сеялкой СКС-6 10-рядовым способом. Учётная площадь делянок составила 8,25–13,95 м² в зависимости от года. Повторность вариантов четырёхкратная. Метод размещения делянок – систематический по Б.А. Доспехову [12]. Обработку семян биопрепаратами проводили в день посева, избегая прямых солнечных лучей. Уборку проводили прямым способом с помощью комбайна Сампо-130.

Полевые опыты в ФГБУН «НИИСХ Крыма» проводили в суходольном десятипольном севообороте. Опыты закладывали систематическим методом, повторность вариантов четырёхкратная. Учётная площадь делянки 25 м². Посев осуществляли селекционной сеялкой СКС-6-10 с нормой высева 2,2 млн всхожих семян на гектар. Уборку урожая проводили малогабаритным комбайном «Wintersteiger Classic».

Математическую обработку результатов опыта проводили методами вариационного и дисперсионного анализов [12] с использованием компьютерной программы Microsoft Excel 2010.

Результаты и их обсуждение

Урожайность чечевицы в целом в Орловской области, за исключением нетипичного по условиям 2020 г., была существенно выше, чем в Крыму. Так, в среднем за 2021 и 2022 гг. в контрольных вариантах у сорта Аида урожайность в Орловской области составила 2,23 т/га, в Крыму – 1,07 т/га, у сорта Восточная – 1,73 т/га и 1,15 т/га соответственно (таблица 1).

Отмечена устойчивая тенденция увеличения урожайности при применении Ризобин^{азро} и особенно препарата Микробиоком^{азро} в Крыму, что вполне логично, учитывая резкий недостаток доступного фосфора в почвах Крыма. В Орловской

области при повышенном содержании подвижного фосфора в почве эффективность препарата Микробиоком^{агро}, за исключением сорта Аида в 2021 г., была в пределах ошибки опыта.

Таблица 1 – Урожайность чечевицы (т/га) в условиях Орловской области и Республики Крым (2020–2022 гг.)

Вариант	Орловская область		Республика Крым	
	Аида	Восточная	Аида	Восточная
2020 г.				
Контроль	0,67	0,97	0,63	0,81
Ризобин ^{агро}	1,11*	1,10*	0,66	0,95*
Микробиоком ^{агро}	0,65	0,87	0,71*	0,99*
НСР ₀₅	0,12	0,12	0,03	0,03
2021 г.				
Контроль	1,83	1,07	0,64	0,64
Ризобин ^{агро}	1,96*	1,15	0,65	0,68
Микробиоком ^{агро}	1,96*	1,05	0,73	0,83*
НСР ₀₅	0,11	0,11	0,07	0,08
2022 г.				
Контроль	2,63	2,39	1,49	1,66
Ризобин ^{агро}	2,66	2,56*	1,66	1,74*
Микробиоком ^{агро}	2,56	2,24	1,67*	1,73*
НСР ₀₅	0,12	0,12	0,17	0,07

Примечание. * – различия достоверны при $p \leq 0,05$.

Предпосевная обработка семян чечевицы Ризобин^{агро} положительно повлияла на урожайность, показав тенденцию к её увеличению. Достоверная прибавка от действия препарата Ризобин^{агро} получена в 2020 г. у обоих сортов чечевицы при общей низкой урожайности, так у сорта Аида она составила 0,44 т/га (39 %). При этом мы исключаем 2021 г., крайне неблагоприятный для образования и дальнейшего функционирования симбиотического аппарата. ГТК в июне составил 0,49 (сильная засушливость), а в июле – 0,74 (засушливость). В 2022 г. прибавка от действия Ризобин^{агро} на уровне 0,17 т/га получена у сорта Восточная.

Установлено, что сорта чечевицы Аида и Восточная отзывчивы на бактеризацию семян биопрепаратом Микробиоком^{агро} в условиях Республики Крым. Максимальные прибавки урожая по сортам составляли 0,18 и 0,19 т соответственно.

Одним из показателей формирования симбиоза азотфиксирующих бактерий с растением является образование клубеньков на корнях. Тенденции увеличения урожайности под влиянием биопрепаратов сопоставима с тенденцией увеличения количества и массы клубеньков в этих вариантах (таблица 2).

Подсчет клубеньков и определение их биомассы проводили в фазе массового цветения растений. Установлено увеличение количества клубеньков на корнях инокулированных биопрепаратами растений исследуемых сортов в сравнении с контролем.

Предпосевная инокуляция семян чечевицы сорта Аида в условиях Крыма способствовала увеличению количества и соответственно массы клубеньков на растениях в 2 раза (24-28 шт.) при 12 шт. в контрольном варианте; сорта Восточная – 1,5 раза (32-33 шт.) при 23 шт. в контроле. Следует отметить общие закономерности в условиях Орловской области: сорт Аида, и в меньшей степени Восточная оказались отзывчивыми на инокуляцию Ризобин^{агро}; Микробиоком^{агро} также стимулировал образование клубеньков, но в меньшей степени. Объяснение данному факту, как мы предполагаем, можно найти в самом составе препарата, который содержит микроорганизмы, мобилизующие труднодоступные фосфаты, а при наличии в почве

высокого уровня подвижных форм фосфора возможны конкурентные отношения между разными группами бактерий, в том числе клубеньковыми. На полях ФГБНУ «ФНЦ зернобобовых и крупяных культур» предпосевная бактериализация семян микробным препаратом Ризобин^{агро} способствовала увеличению количества клубеньков на корнях растений чечевицы сортов Аида и Восточная до 32 (на 48,8 %) и 24 (29,7 %) шт./растение соответственно и массы – на 66,7 % и 57,1 % соответственно по сортам. Достоверного влияния на исследуемые показатели препарата Микробиоком^{агро} не установлено.

Таблица 2 – Количество и масса клубеньков на корнях растений чечевицы в различных почвенно-климатических условиях

Вариант	Орловская область (среднее за 2020, 2022 гг.)		Республика Крым (среднее за 2020-2022 гг.)	
	количество клубеньков, шт./растение	масса клубеньков с растения, г	количество клубеньков, шт./растение	масса клубеньков с растения, г
сорт Аида				
Контроль	21,5 ± 4,5	0,21 ± 0,03	12,0 ± 3,89	0,25 ± 0,05
Ризобин ^{агро}	32,0 ± 3,8	0,35 ± 0,05	24,0 ± 6,51	0,47 ± 0,12
Микробиоком ^{агро}	24,5 ± 4,0	0,29 ± 0,05	28,0 ± 8,08	0,42 ± 0,13
сорт Восточная				
Контроль	18,5 ± 5,1	0,23 ± 0,06	23,0 ± 5,03	0,21 ± 0,05
Ризобин ^{агро}	24,0 ± 5,0	0,29 ± 0,07	32,3 ± 7,22	0,33 ± 0,10
Микробиоком ^{агро}	22,5 ± 4,9	0,24 ± 0,06	33,7 ± 5,90	0,36 ± 0,11

Учёты количественных показателей симбиотической азотфиксации в 2022 г. показали, что при сохранении общей тенденции увеличения количества и массы клубеньков под влиянием биопрепаратов, есть и отличия. Они заключаются в том, что формирование клубеньков началось несколько раньше, чем в 2020 г., абсолютные значения количества и массы в среднем выше, а максимальные величины пришлись на начало цветения. Отбор растительных проб через неделю после пиковых значений показал разрушение клубеньков, а к моменту полного цветения (отбор четвертого июля) отмечена их тотальная деструкция. Если более высокие абсолютные показатели количества и массы клубеньков мы связываем с предшественником (озимая пшеница), который своими пожнивно-корневыми остатками улучшает водно-физические свойства почвы и стимулирует размножение клубеньковых бактерий, то резкая деструкция клубеньков безусловно связана с жестким водным дефицитом (ГТК = 0,92, количество осадков в первой декаде июля составило 6,6 мм, при этом средняя суточная температура – 21,3 °С). Таким образом, процесс симбиоза был ограничен примерно 15 днями.

Клубеньки на корнях чечевицы в наших опытах образовывались не только при искусственной инокуляции, но и в контрольных вариантах. Это свидетельствует о наличии в почве спонтанных штаммов «диких» клубеньковых бактерий, тем более, что чечевица, как было отмечено выше, может перекрёстно заражаться клубеньковыми бактериями других видов бобовых, к примеру, гороха, конских бобов, вики. При этом, обладая меньшей эффективностью, они могут быть более вирулентны и конкурентоспособны. В исследованиях, выполненных в Московской области коллективом авторов на различных видах бобовых показано, что нодуляционная конкурентоспособность производственных штаммов ризобий на фоне аборигенных клубеньковых бактерий не превышала 50 % [13].

Нами показано, что период активной азотфиксации у чечевицы очень короткий и составлял примерно 15 суток; к моменту полного цветения происходило отмирание клубеньков. Интересный факт отрицательной корреляции между эффективностью

фиксации атмосферного азота и продолжительностью периода всходы–цветение у чечевицы показан в работе исследователей штата Монтана [14]. Несмотря на то, что корреляция между урожайностью чечевицы и параметрами азотфиксации может быть непостоянной и разнонаправленной [14], ученые приходят к выводу, что использование микробиологических препаратов содержащих азотфиксирующие бактерии повышает эффективность фиксации азота и увеличивает урожайность чечевицы [15, 16]. В наших исследованиях подтверждена эффективность микробных препаратов Ризобин^{агро} и Микробиоком^{агро} на фоне спонтанной инокуляции в исследуемых почвенно-климатических условиях.

Выводы

При сравнительной оценке двух разных по почвенно-климатическим условиям регионов России можно констатировать, что в Орловской области (север Центрально-Чернозёмной зоны) условия для возделывания чечевицы более благоприятные, о чём свидетельствуют данные по урожайности.

Инокуляция семян препаратом Ризобинагро в Орловской области проявила устойчивую тенденцию к повышению урожая зерна чечевицы сорта Аида до 0,44 т/га и соответствовала той же тенденции относительно количества и массы клубеньков. Прибавка урожайности у сорта Аида в Орловской области в среднем за три года составила 0,2 т/га, у сорта Восточная – 0,12 т/га. Число клубеньков на корнях растений чечевицы в варианте Ризобин^{агро} увеличивалось на 30–50 %, а их масса – на 57–67 %. Эффективность комплексного бактериального препарата (Микробиоком^{агро}) в условиях Орловской области была в пределах ошибки опыта.

В условиях Крыма Ризобин^{агро} и особенно Микробиоком^{агро} повышали урожайность испытанных сортов чечевицы в годы исследований. Максимальные прибавки урожая составили: 0,18 т (Аида) при бактериализации семян препаратом Ризобин^{агро} в 2022 г. и 0,19 т (Восточная) при предпосевной обработке Микробиоком^{агро}.

Литература

1. Laskar R. A., Khan S., Deb C.R., Tomlekova N., Wani M. R., Raina A., Amin R. Lentil (*Lens culinaris* Medik.) diversity, cytogenetics and breeding // *Advances in Plant Breeding Strategies: Legumes*. 2019. P. 319–369. DOI: 10.1007/978-3-030-23400-3_9.
2. Зотиков В. И., Вилюнов С. Д. Современная селекция зернобобовых и крупяных культур в России // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021. № 25 (4). С. 381–387. DOI: 10.18699/VJ21.041.
3. Pérez de la Vega M., Pedro G. G., Gutierrez-Gonzalez J. J., Sáenz de Miera L. E. Tackling lentil biotic stresses in the genomic era. Chapter 5 // In book: *Genomic Designing for Biotic Stress Resistant Pulse Crops*. Ed. By Kole C. Springer Cham. 2022. P. 253–308. DOI: 10.1007/978-3-030-91043-3_5.
4. Khazaei H., Subedi M., Nickerson M., Martínez-Villaluenga C., Frias J., Vandenberg A. Seed protein of lentils: current status, progress, and food applications // *Foods*. 2019. Vol. 8. Art. No. 391. DOI: 10.3390/foods8090391.
5. ФАОСТАТ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL/visualize> (дата обращения 07.06.2023).
6. Босак В. Н., Сачивко Т. В., Кошман Н. Е. Особенности азотфиксации в посевах бобовых овощных культур // *Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Развитие агропромышленного комплекса на основе современных научных достижений и цифровых технологий»*. Ч. I. Санкт-Петербург: СПбГАУ, 2019. С. 15–17.
7. Ханиева И. М., Чапаев Т. М., Бозиев А. Л. Эффективность применения биопрепаратов на посевах чечевицы в предгорной зоне КБР // *Известия Дагестанского ГАУ*. 2019. № 2. С. 175–180.
8. Турина Е. Л., Дидович С. В., Кулинич Р. А. Применение полифункциональных препаратов при выращивании бобовых культур в Крыму // *Земледелие*. 2015. № 2. С. 31–33.
9. Дидович С. В. Перспективы сельскохозяйственной микробиологии. Гл. 2.2 // В кн.: *Проблемы и перспективы инновационного развития сельских территорий Крыма* // Под ред. В.С. Паштецкого. Симферополь: Ариал, 2019. С. 158–171.

10. Тихонович И. А., Борисов А. Ю., Васильчиков А. Г., Жуков В. А., Кожемяков А. П., Наумкина Т. С., Чеботарь В. К., Штарк О. Ю., Яхно В. В. Специфичность микробиологических препаратов для бобовых культур и особенности их производства // Зернобобовые и крупяные культуры. 2012. № 3. С. 11–17.

11. Патент РФ №2785451 «Штамм клубеньковых бактерий *Rhizobium leguminosarum* – активный симбиотический азотфиксатор для гороха, чины, чечевицы, рекомендованный как основа микробного препарата» // Авторы: Дидович С. В., Каменева И. А., Алексеенко О. П., Пась А. Н. Патентообладатель: ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». 2022. Бюлл. № 34.

12. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 315 с.

13. Хапчаева С. А., Дидович С. В., Топунов А. Ф. Специфичность симбиотических взаимодействий бактерий рода *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* с растениями трибы *viciae* // Экологическая генетика. 2018. Т. 16. № 4. С. 51–60. DOI: 10.17816/ecogen16451-60.

14. Baber K., Jones C., McPhee K., Miller P. R., Lamb P. Nitrogen fixation among pea and lentil varieties in the northern Great Plains // *Agronomy Journal*. 2023. DOI: 10.1002/agj2.21419.

15. Khanna V., Sharma P. Potential for enhancing lentil (*Lens culinaris*) productivity by co-inoculation with PSB, plant growth-promoting rhizobacteria and *Rhizobium* // *The Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2011. Vol. 81. No. 10. P. 48–50.

16. Jones C., Baber K., Miller P. R., Lamb P., Atencio S. Lentil nitrogen fixation response to fertilizer and inoculant in the northern Great Plains // *Agronomy Journal*. 2023. DOI: 10.1002/agj2.21421.

References

1. Laskar R. A., Khan S., Deb C.R., Tomlekova N., Wani M. R., Raina A., Amin R. Lentil (*Lens culinaris* Medik.) diversity, cytogenetics and breeding // *Advances in Plant Breeding Strategies: Legumes*. 2019. P. 319–369. DOI: 10.1007/978-3-030-23400-3_9.

2. Zotikov V.I., Vilyunov S.D. Present-day breeding of legumes and groat crops in Russia // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021. No. 25 (4). P. 381–387. DOI: 10.18699/VJ21.041.

3. Pérez de la Vega M., Pedro G. G., Gutierrez-Gonzalez J. J., Sáenz de Miera L. E. Tackling lentil biotic stresses in the genomic era. Chapter 5 // In book: *Genomic Designing for Biotic Stress Resistant Pulse Crops*. Ed. By Kole C. Springer Cham. 2022. P. 253–308. DOI: 10.1007/978-3-030-91043-3_5.

4. Khazaei H., Subedi M., Nickerson M., Martínez-Villaluenga C., Frias J., Vandenberg A. Seed protein of lentils: current status, progress, and food applications // *Foods*. 2019. Vol. 8. Art. No. 391. DOI: 10.3390/foods8090391.

5. FAOSTAT. [Electronic resource]. Access point: <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL/visualize> (reference's date 07.06.2023).

6. Bosak V.N., Sachivko T.V., Koshman N.E. Features of nitrogen fixation in legume vegetable crops // *Scientific support of agroindustrial complex development under conditions of import substitution: collection of scientific works based on the materials of the international scientific-practical conference “Development of the agro-industrial complex on the basis of modern scientific achievements and digital technologies”*. Part I. St. Petersburg: St. Petersburg State Agrarian University, 2019. P. 15–17.

7. Khanieva I.M., Chapaev T.M., Bosiev A.L. The effectiveness of the use of biological products on the crops of lentils in the foothill zone of the Kabardino-Balkar Republic // *Daghestan GAU Proceedings*. 2019. No. 2. P. 175–180.

8. Turina E. L., Didovich S. V., Kulinich R. A. Multifunctional biological preparations application at legumes cultivation in the Crimea // *Zemledelie*. 2015. No. 2. P. 31–33.

9. Didovich S.V. Prospects of agricultural microbiology. Chap. 2.2 // In book: *Problems and prospects of innovative development of rural territories of Crimea* / Ed. by V.S. Pashtetsky. Simferopol: Arial, 2019. P. 158–171.

10. Tikhonovich I. A., Borisov A. Yu., Vasilchikov A. G., Zhukov V. A., Kozhemyakov A. P., Naumkina T. S., Chebotar V. K., Stark O. Yu., Yakhno V. V. Specificity of microbiological preparations for bean crops and features of its production // *Legumes and Groat Crops*. 2012. No. 3. P. 11–17.

11. RF Patent No. 2785451 “Strain of nodule bacteria *Rhizobium leguminosarum* – an active symbiotic nitrogen fixator for pea, vetchling, lentils recommended as the basis of a microbial preparation” / Authors: Didovich S. V., Kameneva I. A., Alekseenko O. P., Pas A. N. Patent holder: FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”. 2022. Bull. No. 34.

12. Dospikhov B. A. Methods of field research. Moscow: Agropromizdat, 1985. 315 p.

13. Khapchaeva S. A., Didovich S. V., Topunov A. F., Mulyukin A.L., Zotov V.S. Specificity of the symbiotic interactions of bacteria of the genus *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* with plants of the tribe *Viciae* // *Ecological genetics*. 2018. Vol. 16. No. 4. P. 51–60. DOI: 10.17816/ecogen16451-60.

14. Baber K., Jones C., McPhee K., Miller P. R., Lamb P. Nitrogen fixation among pea and lentil varieties in the northern Great Plains // *Agronomy Journal*. 2023. DOI: 10.1002/agj2.21419.

15. Khanna V., Sharma P. Potential for enhancing lentil (*Lens culinaris*) productivity by co-inoculation with PSB, plant growth-promoting rhizobacteria and *Rhizobium* // *The Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2011. Vol. 81. No. 10. P. 48–50.

16. Jones C., Baber K., Miller P. R., Lamb P., Atencio S. Lentil nitrogen fixation response to fertilizer and inoculant in the northern Great Plains // *Agronomy Journal*. 2023. DOI: 10.1002/agj2.21421.

UDC 579.64:663.31/.37

Guryev G. P., Suvorova G. N., Ptashnik O. P., Yakubovskaya A. I., Kameneva I. A.
EVALUATION OF THE EFFECT OF BIOPREPARATIONS ON THE STRUCTURAL ELEMENTS OF SYMBIOSIS (NODULES) AND YIELD OF LENTILS UNDER CONDITIONS OF THE OREL REGION AND THE REPUBLIC OF CRIMEA

Summary. *Lentil (Lens culinaris Medik.) is the pulse crop known to man since ancient times. This crop is traditionally valued as a source of energy, protein, minerals, vitamins, as well as dietary fibre. One of the most important biological features of lentils, as well as other legumes, is its ability to establish symbiotic relationships with nodule bacteria of the family Rhizobiaceae. The purpose of the research was twofold: first, under different soil and climatic conditions, test innovative biological preparations developed in the Research Institute of Agriculture of Crimea on lentils varieties bred by the scientists from Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops (FSC LGC); and then, choose the best L. culinaris variety to improve crop yield. The studies were carried out in 2020–2022 under conditions of field experiments in two different locations: FSC LGC (Orel region); Research Institute of Agriculture of Crimea (Republic of Crimea). In the course of the current research, we used the following microbial preparations: Rhizobin^{agro} (based on symbiotic nitrogen-fixing nodule bacteria); Microbiocom^{agro} (a universal multystrain microbial preparation composed of Rhizobin^{agro}, Phosphostim^{agro} (based on bacteria that converts poorly soluble phosphorus compounds into forms available for plants) and Bioprofid^{agro} (based on microorganisms that inhibit the growth of phytopathogenic fungi and bacteria). All surveys and observations were carried out on two lentils varieties: ‘Aida’ and ‘Vostochnaya’. Under conditions of the Orel region, on average, the yield of lentils (with the exception of 2020) was significantly higher than that of in the Crimea. In 2020–2022, in the Orel region, the use of Rhizobin^{agro} contributed to an increase in the lentil grain yield: ‘Aida’ – by 0.2 t/ha, ‘Vostochnaya’ – by 0.12 t/ha. In Crimea, a positive trend was also noted but only after the application of complex bacterial preparation Microbiocom^{agro}. The maximum yield increase was 0.18 t/ha for ‘Aida’ and 0.19 t/ha for ‘Vostochnaya’. Pre-sowing inoculation of lentil seeds of ‘Aida’ variety under conditions of Crimean Peninsula contributed to an increase in the number and, accordingly, the mass of nodules on plants twice (24–28 pcs. in experimental variant vs. 12 pcs. in the control one); ‘Vostochnaya’ variety – by 1.5 times (32–33 pcs. vs. 23 pcs.).*

Keywords: *Lens culinaris Medik., variety, biopreparations, symbiotic nitrogen fixation, hydrothermal coefficient.*

Гурьев Геннадий Петрович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории генетики и биотехнологии, ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур»; 302502, Россия, Орловская область, Орловский район, п. Стрелецкий, ул. Молодежная, 10, корп. 1; e-mail: guriyevrel@mail.ru.

Суворова Галина Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией генетики и биотехнологии, ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур»; 302502, Россия, Орловская область, Орловский район, п. Стрелецкий, ул. Молодежная, 10, корп. 1; e-mail: galina@vniizbk.ru.

Пташник Ольга Павловна, старший научный сотрудник лаборатории семеноводства и изучения новых генотипов отдела интродукций и технологий в полеводстве и животноводстве, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: ptashnik_o@niishk.ru.

Якубовская Алла Ивановна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: yakubovskaya_alla@mail.ru.

Каменева Ирина Алексеевна, кандидат сельскохозяйственных наук ведущий научный сотрудник, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: irina.kameneva.7@mail.ru.

Guryev Gennady Petrovich, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher, Laboratory of genetics and biotechnology, FSBSI “Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops”; 1 build., 10, Molodezhnaya str., vill. Streletski, Orel region, 302502, Russia; e-mail: gurievorel@mail.ru.

Suvorova Galina Nikolaevna, Cand. Sc. (Agr.), head of the Laboratory of genetics and biotechnology, FSBSI “Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops”; 1 build., 10, Molodezhnaya str., vill. Streletski, Orel region, 302502, Russia; e-mail: galina@vniizbk.ru.

Ptashnik Olga Pavlovna, senior researcher, Laboratory of seed growing and strain investigation of new genotypes, Department of introductions and technologies in agriculture and livestock farming, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: ptashnik_o@niishk.ru.

Yakubovskaya Alla Ivanovna, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: yakubovskaya_alla@mail.ru.

Kameneva Irina Alekseevna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: irina.kameneva.7@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 31.07.2023.

Дата принятия к печати – 21.00.2023.

DOI 10.5281/zenodo.10134665

EDN OFOUKK

УДК 633.88

Гущина В. А.¹, Никольская Е. О.², Лобанова Н. Ю.¹

СПОСОБЫ БОРЬБЫ С СОРНЯКАМИ В ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЭХИНАЦЕИ ПУРПУРНОЙ

¹ФГБОУ ВО Пензенский государственный аграрный университет;

²Филиал ФБУ «Рослесозащита – Центр защиты леса Пензенской области»

Реферат. Одним из основных элементов в технологии возделывания сельскохозяйственных культур является их надежная защита от сорной растительности, борьба с которой остается на сегодняшний день очень актуальной. При выращивании многолетнего лекарственного растения эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) сорта Полесская красавица в год посева эта проблема считается особенно актуальной из-за слабого её развития на начальных этапах онтогенеза. Поэтому целью исследований является поиск оптимальных способов борьбы с сорной растительностью в агроценозах эхинацеи пурпурной при различных сроках посева в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Двухфакторный полевой опыт проводили по общепринятым методикам на лугово-черноземной почве в 2014–2017 гг. на коллекционном участке ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет». В годы проведения исследований вегетационный период характеризовался значительными колебаниями гидротермических условий: от засушливых – в 2015 г. (ГТК – 0,67) до достаточно увлажненных – в 2016 г. (ГТК – 1,21). Степень засоренности эхинацеи пурпурной в среднем за три года при дождевом внесении гербицида «Лазурит» на подзимнем посеве снижалась в 1,5 раза по сравнению с контролем, а количество сорняков не превышало 28,3 шт./м². Эффект от действия этого препарата на ранневесеннем посеве был ниже, при этом количество сорного компонента достигало 43,3 шт./м². В фазе розетки листьев токсическое действие гербицида «Миура» проявлялось в сдерживании злаковых сорняков, но более заметный результат получен в последствии от использования препарата «Лазурит», где количество сорной растительности на первом сроке посева составило 10,0 шт./м², на втором – 21,3 шт./м². К уборке культуры их численность возросла до 26,0 и 35,0 шт./м² соответственно, однако масса каждого из них не превышала 1 г, то есть, при осеннем учете сорной растительности двукратная гербицидная обработка снижала засоренность на подзимнем посеве на 41 % по сравнению с контролем, на ранневесеннем – на 24 %.

Ключевые слова: эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea* (L.) Moench), срок посева, сорная растительность, гербициды.

Для цитирования: Гущина В. А., Никольская Е. О., Лобанова Н. Ю. Способы борьбы с сорняками в технологии возделывания эхинацеи пурпурной // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3 (35). С. 42–51. EDN: OFOUKK. DOI: 10.5281/zenodo.10134665.

For citation: Gushchina V. A., Nikolskaya E. O., Lobanova N. Yu. Weed control methods in *Echinacea purpurea* cultivation technology // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3(35). P. 42–51. EDN: OFOUKK. DOI: 10.5281/zenodo.10134665.

Введение

Одним из основных элементов в технологии возделывания сельскохозяйственных культур является надежная их защита от сорной растительности, борьба с которой остается на сегодняшний день очень актуальной, так как между ними происходит конкуренция за факторы жизни [1–3]. Сорняки, засоряя посевы, затеняют культурные растения, что в ряде случаев приводит к их полной гибели. Поглощая из почвы большое количество влаги и зольных элементов, они также способны выделять в нее вредные вещества. При попадании частей сорных растений в надземную массу культурных сорняки снижают качество сырья, так как являются первичными очагами многих заболеваний и вредителей [4, 5]. Полное уничтожение всех сорняков невозможно, но сокращение их численности вполне реально [6, 7]. В современных условиях к самому эффективному методу борьбы с сорным компонентом относится химический – использование гербицидов [8, 9]. Не являются исключением и механические способы борьбы, особенно на лекарственных растениях [10]. Обязательным условием выбора способа борьбы с сорняками является их количественный учет и установление видового состава, сроки посева и густота стояния культурных растений [11, 12]. Особенно сложно бороться с сорняками при выращивании многолетней лекарственной культуры эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* (L.) Moench), которая слабо развивается на начальных этапах формирования агроценоза [13]. Поэтому при её возделывании очень важно правильно и своевременно организовать проведение всех необходимых мероприятий по борьбе с сорняками.

Цель исследований – поиск оптимальных способов борьбы с сорной растительностью в агроценозах эхинацеи пурпурной при различных сроках посева в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

Материалы и методы исследований

Опыт проводили в 2014–2017 гг. согласно методике Б.А. Доспехова (1985) на коллекционном участке ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет» на лугово-черноземной почве со следующими агрохимическими показателями: кислотность почвы (рН) – 5,2–5,5 (ГОСТ 26483-85), содержание гумуса – 3,6–3,8 % (ГОСТ 26213-91), щелочногидролизуемого азота – 77,7–81,1 мг/кг почвы (по Корнфилду), подвижного фосфора и обменного калия – 36,2–37,3 и 78,6–80,3 мг/кг почвы соответственно (ГОСТ 26204-91). Схема опыта включала два фактора: фактор А – срок посева: подзимний и ранневесенний; фактор В – способ борьбы с сорняками: 1 – трехкратная прополка вручную (контроль); 2 – трехкратная междурядная обработка; 3 – опрыскивание почвы гербицидом «Лазурит», СП (0,5 кг/га) до всходов культуры; 4 – опрыскивание посевов гербицидом «Миура», КЭ (0,6 л/га) в фазе 2-4 листьев однолетних и многолетних злаковых сорняков; 5 – опрыскивание почвы гербицидом «Лазурит», СП (0,5 кг/га) до всходов культуры + опрыскивание посевов гербицидом «Миура», КЭ (0,6 л/га) в фазе 2-4 листьев однолетних и многолетних злаковых сорняков. В первом и втором вариантах фактора В – борьба с сорняками проводилась при достижении ими фазы 2-4 листьев. Срок довсходовой обработки гербицидом «Лазурит» определен появлением эхинацеи на накрытом пленкой участке площадью в один квадратный метр, расположенном на защитной полосе. Всходы под пленкой говорят о появлении их на делянках через три–пять дней. Этот препарат в зависимости от погодных условий сдерживает сорняки на протяжении нескольких месяцев. Гербицид «Миура», обладая селективным действием, эффективно уничтожает однолетние и многолетние сорняки, не оказывая токсического действия на культурные растения. Продолжительность защитного эффекта – до двух месяцев [15].

Повторность опыта шестикратная, размещение вариантов рендомизированное. Площадь делянок 12,5 м², учетная – 2,0 м². Для исследований использовали семена эхинацеи пурпурной сорта Полесская красавица. Посев проведен по лучшему предшественнику – чистому пару на глубину 1,5–2,5 см с шириной междурядий 45 см и нормой высева 2 млн всхожих семян на гектар. Ежегодно, перед каждой культивацией чистого пара, которую проводили трижды, осуществляли оценку его засоренности по Васильеву И. П. (2004) количественно-весовым методом. Подзимний посев осуществляли при установившейся постоянной температуре ниже 5 °С, чтобы семена не проросли. В 2014 г. он проведен 30 октября, в 2015 и 2016 гг. – 20 и 21 октября, ранневесенний – при наступлении физической спелости почвы: 26 апреля в 2016 г. и 30 апреля – в 2015 и 2017 гг. После посева проводили прикатывание, а борьбу с сорняками – согласно схеме опыта. Гербицидную обработку, с расходом рабочей жидкости 250 л/га, выполняли ранцевым опрыскивателем вручную с установкой защитного экрана. Засоренность посевов определяли в три срока: в фазе полных всходов эхинацеи, в фазе розетки листьев и перед уборкой, учитывая численность малолетних и многолетних сорняков и их сырую массу на постоянных площадках площадью 0,25 м² в трехкратной повторности.

В годы проведения исследований в течение вегетационного периода наблюдали значительные колебания гидротермических условий: от засушливых – в 2015 г. (ГТК – 0,67) до достаточно увлажненных – в 2016 г. (ГТК – 1,21).

Результаты и их обсуждение

После предварительного обследования экспериментального участка на наличие сорной растительности установлен малолетний тип засоренности с преобладанием злаковых сорняков таких, как просо куриное или ежовник обыкновенный (*Echinochloa crus galli* L. Beauv) и щетинник сизый (мышей сизый) (*Setaria glauca* L., *Setaria pumila*). Двудольные представлены щирицей запрокинутой (*Amaranthus retroflexus* L.), пастушьей сумкой обыкновенной (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.), марью белой (*Chenopodium album* L.) и портулаком огородным (*Portulaca oleracea* L.). Последний появился перед второй культивацией чистого пара. Из многолетних сорняков наблюдали вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.) и осот желтый (полевой) (*Sonchus arvensis* L.). В среднем за три года на долю злакового компонента приходилось 58 % с преобладанием ежовника обыкновенного, составляющего в ценозе 33 % (рисунок). В структуре сорных растений на долю многолетних и однолетних двудольных приходилось 42 % и наиболее распространённой являлась щирица запрокинутая (24 %). К концу июля обнаружены всходы портулака огородного.

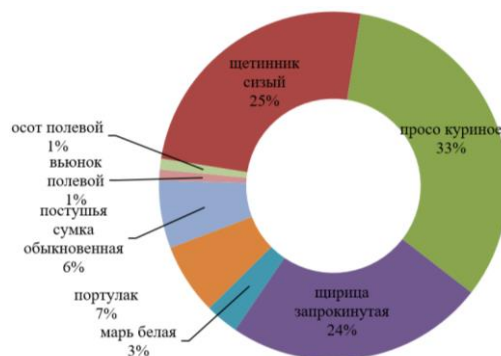


Рисунок – Круговая диаграмма видového состава сорняков в чистом пару (2014–2016 гг.)

В годы проведения исследований обработку гербицидом «Лазурит», согласно схеме опыта, проводили за три–пять дней до всходов эхинацеи, что способствовало её защите от сорняков до конца июня, то есть в критический период её развития.

По годам исследований засоренность эхинацеи различалась. В 2015 г. на подзимних посевах обработку гербицидом «Лазурит» провели 30 апреля, то есть за пять дней до появления всходов. Действие препарата проявлялось в течение трех недель, так как для эффективной работы гербицида необходимы оптимальные условия по температурному и водному режимам. На ранневесеннем посеве появление всходов запоздало на 16 дней и использование гербицида «Лазурит» сдвинулось на середину мая, когда сложились условия недостаточного увлажнения (ГТК – 1,3). Но повышенные температуры и слабые осадки в конце мая и двух декадах июня повлияли на снижение эффективности работы препарата на 76 % по отношению к подзимнему, то есть, на ранневесеннем посеве количество сорняков составило 38 шт./м² против 9 шт./м² – на подзимнем (таблица 1).

Таблица 1 – Количество сорняков в агроценозе эхинацеи пурпурной по фазам её развития, шт./м²

Фактор А – срок посева	Фактор В – способ борьбы с сорной растительностью	2015 г.			2016 г.			2017 г.			Среднее		
		полные всходы	розетка истьев	перед уборкой	полные всходы	розетка истьев	перед уборкой	полные всходы	розетка истьев	перед уборкой	полные всходы	розетка истьев	перед уборкой
Подзимний	Три ручных прополки (контроль)	56	17	34	47	12	43	53	26	54	52,0	18,4	43,7
	Три междурядные обработки	54	28	45	50	15	41	54	30	61	52,7	24,3	49,0
	«Лазурит»	9	18	24	7	10	27	6	12	34	7,3	13,3	28,3
	«Миура»	56	29	59	48	25	38	53	29	52	52,3	27,7	49,7
	«Лазурит» + «Миура»	10	11	20	6	9	26	6	10	32	7,3	10,0	26,0
	Среднее	37	20,6	36,4	31,6	14,2	35,0	34,4	21,4	46,6	34,3	18,7	39,3
Ранневесенний	Три ручных прополки (контроль)	56	19	38	45	13	50	50	26	51	50,3	19,3	46,3
	Три междурядные обработки	57	26	48	47	14	47	52	28	51	52,0	22,7	48,7
	«Лазурит»	38	34	48	15	17	35	18	20	47	23,7	23,7	43,3
	«Миура»	58	32	55	47	24	45	52	27	60	52,3	27,7	53,3
	«Лазурит» + «Миура»	41	28	38	19	18	30	19	18	37	26,3	21,3	35,0
	Среднее	50	27,8	45,4	34,6	17,2	41,4	38,2	23,8	49,2	40,9	22,9	45,3
Среднее по способам борьбы с сорняками	Три ручных прополки (контроль)	56,0	18,0	36,0	46,0	12,5	46,5	51,5	26,0	52,5	51,2	18,9	45,0
	Три междурядные обработки	55,5	27,0	46,5	48,5	14,5	44,0	53,0	29,0	56,0	52,4	23,5	48,9
	«Лазурит»	23,5	26,0	36,0	11,0	13,5	31,0	12,0	16,0	40,5	15,5	18,5	35,8
	«Миура»	57,0	30,5	57,0	47,5	24,5	41,5	52,5	28,0	56,0	52,3	27,7	51,5
	«Лазурит» + «Миура»	25,5	19,5	29,0	12,5	13,5	28,0	12,5	14,0	34,5	16,8	15,7	30,5
НСР ₀₅ , А		5,09	4,85	4,98	5,33	3,83	6,25	4,26	4,07	5,19			
НСР ₀₅ , В		8,05	7,66	7,88	8,43	6,06	9,88	6,74	6,43	8,20			
НСР ₀₅ , частные различия		11,39	10,84	11,14	11,93	8,57	13,98	9,53	9,10	11,60			

Высокую степень гербицидной активности препарата «Лазурит» наблюдали после первого учета засоренности посевов в фазе двух-четырех листьев сорного компонента, проведенного 18 июня на подзимнем посеве, где на 1 м² насчитывалось до 10 сорняков с сырой массой 8,9 г (таблица 2).

Таблица 2 – Сырая масса сорняков в агроценозе эхинацеи пурпурной по фазам развития, г/м²

Фактор А – срок посева	Фактор В – способ борьбы с сорной растительностью	2015 г.			2016 г.			2017 г.			Среднее		
		полные всходы	розетка листьев	перед уборкой	полные всходы	розетка листьев	перед уборкой	полные всходы	розетка листьев	перед уборкой	полные всходы	розетка листьев	перед уборкой
Подзимний	Три ручных прополки (контроль)	41,0	35,1	31,0	54,4	31,4	43,1	41,8	41,6	41,8	45,8	36,0	38,6
	Три междурядные обработки	42,9	53,2	42,0	60,2	36,0	45,2	42,0	48,0	43,3	48,4	45,7	43,5
	«Лазурит»	8,1	39,6	24,3	10,5	24,5	28,6	5,3	20,4	25,5	8,0	28,2	26,1
	«Миура»	45,3	58,8	44,9	61,4	52,5	40,9	45,1	46,3	43,1	50,6	52,5	43,0
	«Лазурит» + «Миура»	8,9	21,8	18,9	9,5	20,7	28,3	5,4	17,8	29,6	7,9	20,1	25,6
	Среднее	29,2	41,7	32,2	39,2	33,0	37,2	27,9	34,8	36,6	32,1	36,7	45,5
Ранневесенний	Три ручных прополки (контроль)	44,8	35,6	33,0	59,9	33,5	45,9	42,0	44,2	43,4	49,0	37,8	40,8
	Три междурядные обработки	43,6	54,6	39,3	61,4	36,4	46,3	44,6	48,1	44,8	49,9	46,4	43,5
	«Лазурит»	26,6	64,2	42,2	22,5	36,1	36,0	16,2	34,4	44,3	21,8	44,9	40,8
	«Миура»	44,4	61,4	47,9	63,7	45,5	45,3	45,4	46,4	48,2	51,2	51,1	47,1
	«Лазурит» + «Миура»	28,8	53,7	33,4	22,3	35,3	43,7	17,5	33,0	31,6	22,9	40,7	36,2
	Среднее	37,6	53,9	39,2	46,0	37,4	43,4	33,1	41,2	42,4	38,9	44,2	41,7
Среднее по способам борьбы с сорняками	Три ручных прополки (контроль)	42,9	35,4	32,0	57,2	32,5	44,5	41,9	42,9	42,6	47,4	36,9	39,7
	Три междурядные обработки	43,3	53,9	40,7	60,8	36,2	45,8	43,3	48,1	44,1	49,2	46,1	43,5
	«Лазурит»	17,4	51,9	33,3	16,5	30,3	32,3	10,8	27,4	34,9	14,9	36,6	33,5
	«Миура»	44,9	60,1	46,4	62,6	49,0	43,1	45,3	46,4	45,7	50,9	51,8	45,1
	«Лазурит» + «Миура»	18,9	37,8	26,2	15,9	28,0	36,0	11,5	25,4	30,6	15,4	30,4	30,9
НСР ₀₅ , А		3,71	3,83	3,46	2,98	3,45	3,78	2,74	3,05	3,07			
НСР ₀₅ , В, АВ		5,87	6,05	5,47	4,70	5,45	5,97	4,33	4,81	4,85			
НСР ₀₅ , частные различия		8,30	8,55	7,74	6,65	7,71	8,45	6,12	6,81	6,86			

Количество сорняков до их удаления на других вариантах составило 54–58 шт./м² на обоих сроках посева с сырой массой 41,0–45,3 г/м². После их учета в фазе 2–4 листьев выполнили уходные работы, которые заключались в ручной прополке, междурядной и гербицидной обработке препаратом «Миура». Экологически чистые приемы по удалению сорняков, то есть ручную прополку и междурядную обработку, применили ещё раз через 10 дней. При достижении растениями эхинацеи фазы розетки листьев, то есть шестого июля, провели очередной учет сорных растений и установили снижение засоренности в 1,8 раза в среднем по обоим срокам посева. Однако масса сорняков возросла в 1,4 раза. Минимальное количество сорняков, 11,0–18,0 шт./м², насчитывалось на подзимних агроценозах с ручной прополкой и использованием Лазурита. Двукратная ручная прополка ранневесенних посевов снизила число сорняков до 19,0 шт./м².

Действие гербицида «Лазурит» по сравнению с удалением сорняков вручную было слабее, количество сорных растений составляло 34 шт./м². При механическом удалении сорного компонента, значительная его часть сохранилась в рядах и защитной зоне. Независимо от сроков посева, их число достигало 28,0 шт./м², применение одного граминицида не уступало междурядной обработке и на ранневесеннем посеве их количество не превышало 32 шт./м², на подзимнем – 29 шт./м². Опрыскивание почвы гербицидом «Лазурит» до появления всходов эхинацеи и последующая её обработка препаратом «Миура» в фазе 2-4 листьев сорняков на подзимнем посеве оказали подавляющее действие на сорные растения, а их количество сохранилось на уровне первого учета, то есть 11 шт./м². Однако сырая масса возросла почти в 2,5 раза. На ранневесеннем посеве закономерность аналогичная, но количество сорняков и их масса на 17,0 шт./м² и 31,9 г/м² соответственно больше, чем на подзимнем. В среднем по срокам посева к третьему учету количество сорных растений возросло в 1,6–1,8 раза по отношению к предыдущему за счет появления поздних яровых, прорастание которых спровоцировали осадки конца июля и начала августа.

В среднем по срокам сева на подзимнем посеве в 2016 г. количество сорных растений снизилось на 15 %, на ранневесеннем – на 31 % по сравнению с 2015 г., но их масса возросла на 25 и 18 % соответственно. При достижении растениями эхинацеи розетки листьев засоренность на подзимнем посеве снизилась в 2,2 раза в сравнении с первым учетом, на ранневесеннем – в 2,0 раза, со средней массой сорняков 33,0 и 37,4 г/м², так как количество выпавших осадков было на 50 % меньше среднеголетних, а температура превышала норму на 2,3 °С. В конце августа для прорастания семян сорняков, находящихся в почве, сложились благоприятные погодные условия. В этот период при повышенной температуре выпало 96 мм осадков, при норме 21 мм, и количество сорных растений к уборке возросло до 35,0 и 41,4 шт./м². Однако более чистым был агроценоз при довсходовом опрыскивании почвы гербицидом «Лазурит» с последующей обработкой препаратом «Миура» в фазе двух-четырёх листьев сорняков, где их количество составило 26 шт./м² с массой 28,3 г/м².

При довсходовой обработке эхинацеи пурпурной первого мая 2017 г., действие гербицида «Лазурит» четко проявилось на подзимнем посеве, где гибель сорных растений составила 89 %. Эффективность препарата связана с его продолжительным защитным действием, так как сумма осадков, выпавших за полтора месяца, соответствовала норме (54 мм). На ранневесеннем посеве токсическое действие гербицида снизилось до 64 %, так как при повышенной солнечной инсоляции осадков выпало меньше многолетних значений на 16 мм. Действие «Лазурита» в этом году было на 61 % эффективнее 2015 г., но слабее 2016 г. на 9,8 %.

Вторая междурядная обработка эхинацеи и ручная прополка сорняков, проведенная в начале третьей декады июня на обоих сроках посева, снизили засоренность агроценозов по отношению к первому определению в 1,8–2,0 раза. Степень засоренности культуры от использования гербицида «Миура» в чистом виде была практически на уровне ручного и механического удаления сорного компонента, количество которого не превышало 29,0 шт./м² с массой 41,6–48,1 г/м².

Незначительные осадки с высокими температурами во второй половине лета не снизили засоренность эхинацеи, но набрать массу сорняки не смогли и поэтому для культуры не составили конкуренцию.

В среднем за три года при трехкратной междурядной обработке эхинацеи сорный компонент сохраняется в рядах, на обоих сроках посева как количество, так и сырая масса практически одинаковы – 49,0 шт./м² и 43,5 г/м² соответственно. При достижении растениями эхинацеи фазы розетки из трех-четырёх листьев (что по календарным срокам совпало с концом мая – серединой июня) в соответствии со схемой опыта посева

обработали гербицидом «Миура» в фазе двух-четырёх листьев однолетних и многолетних злаковых сорняков. Уже на седьмые сутки у сорняков проявился хлороз листьев, а некоторые приобрели антоциановую окраску. Полную их гибель наблюдали в конце месяца. К уборке эхинацеи от применения граминицида «Миура» подавление сорняков на подзимнем посеве осталось на уровне механического воздействия, так как спектр действия граминицида ограничивался только злаковыми сорняками, а двудольные продолжали развиваться. На ранневесеннем посеве его действие снизилось и численность сорняков возросла до 53,3 шт./м².

Довсходовое внесение гербицида «Лазурит» на подзимнем посеве при учете сорняков перед уборкой эхинацеи привело к их снижению в 1,5 раза по сравнению с контролем и составило 28,3 шт./м² с сырой массой 26,1 г/м², то есть, сорная растительность с массой сорняка немногим меньше одного грамма находилась под пологом культурных растений, которые не позволяли им развиваться. Засоренность ранневесенних посевов в этом варианте была выше на 34,6 %.

Хороший эффект по снижению засоренности наблюдали от двукратной химической прополки. Довсходовое опрыскивание почвы гербицидом «Лазурит», обладающего продолжительным периодом защитного действия, сдерживало развитие сорных растений на посевах эхинацеи около двух месяцев. Очередную волну однодольных сорняков уничтожали граминицидом «Миура», эффективность которого проявлялась в течение 30 дней. Необходимо отметить его неэффективность в отношении портулака огородного. На подзимнем посеве сочетание довсходовой гербицидной обработки препаратом «Лазурит» с последующим опрыскиванием эхинацеи «Миурой» в фазе 2-4 листьев сорного злакового компонента снизило засоренность в 1,7 раза, на ранневесеннем – в 1,3 раза по сравнению с контролем.

Самый трудоемкий прием по уходу за эхинацей – трехкратная ручная прополка, показал также хороший результат по уничтожению сорной растительности, особенно на начальных этапах онтогенеза. В период розетки листьев эхинацеи их численность составила 18,4 шт./м² с сырой массой 36,0 г/м² на подзимнем посеве и 19,3 шт./м², 37,8 г/м² соответственно – на ранневесеннем. К концу вегетационного периода культурные растения были хорошо развитыми, что повысило их конкурентную способность к сорному компоненту.

Выводы

Степень засоренности эхинацеи пурпурной, в среднем за три года, при довсходовом внесении гербицида «Лазурит» на подзимнем посеве снижалась в 1,5 раза по сравнению с контролем, на ранневесеннем посеве действие Лазурита было низким: к уборке эхинацеи количество сорняков составило 43,3 шт./м², практически как в контроле (46,3 шт./м²). В фазе розетки листьев эхинацеи токсическое действие гербицида «Миура» проявлялось в сдерживании злаковых сорняков, но более заметный результат получен в последствии от использования Лазурита, когда количество сорной растительности на первом сроке посева составило 10,0 шт./м², на втором – 21,3 шт./м². К уборке культуры их численность возросла до 26,0 и 35,0 шт./м² соответственно, однако масса каждого из них не превышала одного грамма. При осеннем учете сорной растительности двукратная гербицидная обработка снижала засоренность на подзимнем посеве на 41 % по сравнению с контролем на ранневесеннем – на 24 %.

Литература

1. Фатыхов И. Ш., Корепанова Е. В., Захарова Я. Н. Засоренность посевов льна-долгунца в зависимости от обработки гербицидами в Среднем Предуралье // Аграрный вестник Урала. 2012. № 111(103). С. 21–23.

2. Радченко Л. А., Женченко К. Г. Влияние севооборотов на засоренность посевов // Защита и карантин растений. 2017. № 12. С. 30–32.
3. Паштецкий В. С., Женченко К. Г., Радченко Л. А. Сравнительная эффективность чистых и занятых паров в Крыму // Таврический вестник аграрной науки. 2016. № 2(6). С. 99–106.
4. Паштецкий В. С., Радченко Л. А., Женченко К. Г. Специализированные рапсовые севообороты в степном Крыму // Зерновое хозяйство России. 2016. № 3. С. 20–24.
5. Паштецкий В. С., Радченко Л. А., Женченко К. Г. Продуктивность пшеницы озимой в зависимости от предшественников в условиях Крыма // Земледелие. 2016. № 5. С. 20–22.
6. Картамышев В. Г., Ильина Л. П., Бокий Г. В. Сорные растения в агрофитоценозах Ростовской области и меры снижения их вредоносности // Земледелие. 2006. № 3. С. 36–37.
7. Либман М., Молер Ч., Стейвер Ч. Реакция сорняков на присутствие и деятельность человека // Зерно. 2013. № 9. С. 112–120.
8. Мингалев С. К. Снижение засоренности посевов кукурузы и ее урожайность // Аграрный вестник Урала. 2017. № 5(159). С. 7.
9. Наумов М. О., Тюкина Е. В., Бочкарев Д. В., Смолин Н. В., Емельянов С. В., Солдатов Е. О. Совместное применение гербицида и органоминерального удобрения при возделывании амаранта на зерно // Плодородие. 2021. № 1(118). С. 10–12. DOI: 10.25680/S19948603.2021.118.03.
10. Gushchina V. A., Nikolskaya E. O., Lobanova N. Yu. Change in indicators of photosynthetic activity of *Echinacea purpurea* seedlings in the second year of life // Plant Archives. 2021. Vol. 21. No. 1. P. 467–472. DOI: 10.51470/PLANTARCHIVES.2021.v21.no1.066.
11. Костюк А. В., Лукачева Н. Г. Эффективность применения гербицидов на кукурузе // Земледелие. 2015. № 4. С. 30–32.
12. Гурьянов А. М., Артемьев А. А. Оценка засоренности агроценозов и эффективность дифференцированного применения гербицидов в севообороте // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 5(66). С. 83–89. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.66.5.83-89.
13. Гуцина В. А., Никольская Е. О. Фотосинтетическая деятельность агроценоза эхинацеи пурпурной // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 1(21). С. 10–13.
14. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
15. Каталог продукции ЗАО Фирма «Август». 2015. 240 с.
16. Васильев И. П., Туликов А. М., Баздырев Г. И. Практикум по земледелию. М: КолосС, 2004. 424 с.

References

1. Fatykhov I. Sh., Korepanova E. V., Zakharova Ya. N. Infestation of fiber flax depending on herbicide treatment in the Middle Cis-Ural region // Agrarian Bulletin of the Urals. 2012. No. 11-1(103). P. 21–23.
2. Radchenko L. A., Zhenchenko K. G. Influence of crop rotation on weed infestation of crops // Plant Protection and Quarantine. 2017. No. 12. P. 30–32.
3. Pashtetsky V. S., Zhenchenko K. G., Radchenko L. A. Comparative effectiveness of bare and cropped fallows in the Crimea // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2016. No. 2(6). P. 99–106.
4. Pashtetsky V. S., Radchenko L. A., Zhenchenko K. G. Specialized rapeseed crop rotation sequences in the steppe Crimea // Grain Economy of Russia. 2016. No. 3. P. 20–24.
5. Pashtetsky V. S., Radchenko L. A., Zhenchenko K. G. Productivity of winter wheat depending on preceding crops under conditions of the Crimea // Zemledelie. 2016. No. 5. P. 20–22.
6. Kartamyshev V. G., Ilyina L. P., Bokiy G. V. Weeds in agrophytocenoses of the Rostov region and measures to reduce their harmfulness // Zemledelie. 2006. No. 3. P. 36–37.
7. Liebman M., Mohler Ch., Staver Ch. Reaction of weeds to human presence and activity // Zerno. 2013. No. 9. P. 112–120.
8. Mingalev S. K. Reduction of corrugation of corn sows and its yield // Agrarian Bulletin of the Urals. 2017. No. 5(159). P. 39–43.
9. Naumov M. O., Tyukina E. V., Bochkarev D. V., Smolin N.V., Emelyanov S.V., Soldatov E.O. Complex application of a herbicide and an organomineral fertilizer under amaranth cultivation on grain // Plodorodie. 2021. No. 1(118). P. 10–12. DOI: 10.25680/S19948603.2021.118.03.
10. Gushchina V. A., Nikolskaya E. O., Lobanova N. Yu. Change in indicators of photosynthetic activity of *Echinacea purpurea* seedlings in the second year of life // Plant Archives. 2021. Vol. 21. No. 1. P. 467–472. DOI: 10.51470/PLANTARCHIVES.2021.v21.no1.066.
11. Kostyuk A. V., Lukacheva N. G. Efficiency of corn herbicides usage // Zemledelie. 2015. No. 4. P. 30–32.
12. Guryanov A. M., Artemyev A. A. Estimation of agroecosis for weediness and efficiency of differentiated use of herbicides in crop rotation // Agricultural science Euro-North-East. 2018. No. 5(66). P. 83–89. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.66.5.83-89.

13. Gushchina V. A., Nikolskaya E. O. Photosynthetic activity of agrocoenosis of *Echinacea purpurea* // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2013. No. 1(21). P. 10–13.
14. Dospekhov B. A. Methods of field research. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
15. Catalog of “August ZAO” (Close Joint-stock Company) products. 2015. 240 p.
16. Vasiliev I. P., Tulikov A. M., Bazdyrev G. I. Practical training on agriculture. Moscow: KolosS, 2004. 424 p.

UDC 633.88

Gushchina V. A., Nikolskaya E. O., Lobanova N. Yu.

WEED CONTROL METHODS IN *ECHINACEA PURPUREA* CULTIVATION TECHNOLOGY

Summary. *Weed control is an important element in crop cultivation technology. It must be carried out effectively to produce good quality crops with maximum yield potential. This problem is especially relevant when growing perennial medicinal plant Echinacea purpurea (L.) Moench (variety ‘Poleskaya Krasavitsa’) because in the year of sowing, at the initial stages of ontogenesis, plant develops slowly. Therefore, the aim of the research was to find optimal weed control methods in agrocoenoses of E. purpurea sown at different planting dates under conditions of the forest-steppe of the Middle Volga region. In 2014–2017, a two-factor field experiment was conducted at the collection site of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Penza State Agrarian University”. All studies and observations were carried out according to generally accepted methods Soil – meadow chernozem. During the years of research, growing seasons were characterized by significant variations in hydrothermal conditions: from dry in 2015 (Selyaninov Hydrothermal Coefficient (HTC) – 0.67) to quite wet in 2016 (HTC – 1.21). On average for three years, in the context of pre-emergence application of herbicide “Lazurit”, the degree of weediness of Echinacea purpurea sown in winter decreased by 1.5 times compared to control; the number of weeds in this variant did not exceed 28.3 pcs./m². Effect of this preparation was less pronounced when E. purpurea was sown in early spring: there were 43.3 weed plants per m². In the leaf rosette phase, the toxic effect of herbicide “Miura” was manifested in cereal weeds inhibition; more noticeable result was obtained in the variant “Lazurit” + “Miura”: the number of weeds at the first planting date (winter) was 10.0 plants/m², at the second (early spring) – 21.3 plants/m². In autumn, when echinacea was harvested, their number increased to 26.0 and 35.0 pcs./m², respectively, but the mass of each weed plant did not exceed one gram, i.e., double herbicide treatment reduced weed infestation in winter sowing by 41 % compared to control, in the early spring one – by 24 %.*

Keywords: *Echinacea purpurea L., planting date, weeds, herbicides.*

Гущина Вера Александровна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая кафедрой растениеводства и лесного хозяйства ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет»; 440014 Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30; e-mail: gushchina.v.a@pgau.ru.

Никольская Елена Олеговна, кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель начальника отдела «Пензенская лесосеменная станция» – Филиал ФБУ «Рослесозащита – ЦЗЛ Пензенской области», 440014, Россия г. Пенза, ул. Спартаковская, 9; e-mail: nickolsk4ya@yandex.ru.

Лобанова Наталья Юрьевна старший преподаватель кафедры растениеводства и лесного хозяйства ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет»; 440014 Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30; e-mail: nu.lobanova@mail.ru.

Gushchina Vera Aleksandrovna, Dr. Sc. (Agr.), professor, head of the Department of plant growing and forestry, Penza State Agrarian University; 30, Botanicheskaya str., Penza, 440014, Russia; e-mail: guschina.v.a@pgau.ru.

Nikolskaya Elena Olegovna, Cand. Sc (Agr.), deputy head of the Department “Penza Forest Seed Station” – branch of the Federal Budgetary Institution “Russian Forest Protection Center” (Roslesozashchita) – Forest Protection Center of the Penza region”; 9, Spartakovskaya str., Penza, 440014, Russia; e-mail: lenanik2006@rambler.ru.

Lobanova Natalia Yurievna, postgraduate teacher of the Department of plant growing and forestry, Penza State Agrarian University; 30, Botanicheskaya str., Penza, 440014, Russia; e-mail: nu.lobanova@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 31.07.2023.

Дата принятия к печати – 21.09.2023.

DOI 10.5281/zenodo.10135005

EDN MMUCCP

УДК 631.316.2:631.316.6

Джабборов Н. И., Добринов А. В., Комоедов А. Д.

ОЦЕНКА РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА С АДАПТИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

Реферат. Разработка специализированных машин для рыхления почвы и уничтожения сорной растительности и обоснование рациональных режимов их работы, которые бы отвечали требованиям стандартов экологической безопасности, энергосбережения, качества выполнения операций является одним из ключевых направлений развития интенсивного и органического производства растениеводства в АПК. Цель исследований – получение экспериментальных данных, позволяющих выявить закономерности изменения энергетических параметров и агротехнических показателей работы экспериментального образца комбинированного почвообрабатывающего агрегата с адаптивными рабочими органами. Объектом исследований являлся технологический процесс рыхления, подрезания и вычесывания сорной растительности, выполняемый комбинированным почвообрабатывающим агрегатом КПМ-2.7 в агрегате с трактором класса 1.4. По результатам агротехнической оценки работы КПМ-2.7 степень крошения почвы составила 94–97 %, гребнистость – 4,5 см, средняя глубина обработки почвы и подрезания корневой системы сорной растительности – 12 см, степень подрезания сорной растительности – 100 %. Средняя скорость движения МТА находилась в пределах 1,83–3,33 м/с. Основная часть (92 %) подрезанной растительности была поднята пружинной бороной на поверхность почвы. На основе экспериментальных данных получены эмпирические зависимости, описывающие закономерности изменения вероятностно-статистических характеристик тягового сопротивления, среднего значения производительности КПМ-2.7 в агрегате с трактором Беларус-82.1 и его тягового КПД. Результаты исследований свидетельствуют о том, что комбинированный почвообрабатывающий агрегат КПМ-2.7 обеспечивает рациональную загрузку двигателя ММЗ Д-243S2 трактора Беларус-82.1 в диапазоне рабочих скоростей от 2,5–3,0 м/с. Значение КПД подтверждает эффективность конструкции разработанной машины КПМ-2.7 при агрегатировании с трактором Беларус-82.1. Выявленные закономерности изменения тягового сопротивления, производительности, тягового КПД трактора и показатели качества технологического процесса позволяют обосновать рациональные параметры и режимы работы КПМ-2.7 с адаптивными рабочими органами для поверхностной и мелкой обработки почвы с уничтожением сорной растительности с мощной корневой системой.

Ключевые слова: поверхностная, мелкая обработка почвы, рыхление, подрезание сорняков, почвообрабатывающий агрегат, адаптивные рабочие органы, тяговое сопротивление, производительность, КПД.

Для цитирования: Джабборов Н. И., Добринов А. В., Комоедов А. Д. Оценка работы комбинированного почвообрабатывающего агрегата с адаптивными рабочими органами // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3(35). С. 52–63. EDN: MMUCCP. DOI: 10.5281/zenodo.10135005.

For citation: Dzhabborov N. I., Dobrinov A. V., Komoeedov A. D. Evaluation of the work of a combined tillage unit with adaptive working bodies // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3(35). P. 52–63. EDN: MMUCCP. DOI: 10.5281/zenodo.10135005.

Введение

Разработка конструкций технических средств, которые отвечают требованиям стандартов экологической безопасности, энергосбережения, качества выполнения операций является одним из ключевых направлений развития интенсивного и органического производства растениеводства в современном АПК. Разрабатываемые технические средства позволят повысить производительность труда и создать благоприятные условия для роста растений, что обеспечит стабильную урожайность сельскохозяйственных культур [1–4].

Современные биологизированные технологии запрещают использование средств химической защиты растений, в частности гербицидов, и базируются на принципах активного использования севооборотов и агротехнических мероприятий, подразумевающих механическую обработку почвы как одну из экологически безопасных мер борьбы с сорной растительностью [5]. Как известно, на обработку почвы при возделывании той или иной культуры затрачивается 35–45 % энергии [6]. В отличие от культурных растений сорняки более устойчивы к неблагоприятным условиям окружающей среды и способны противостоять мерам борьбы с ними. На ранних стадиях вегетации культур, сорная растительность выносит большую часть питательных веществ и влаги из почвы, что негативно сказывается на урожайности и наносит вред сельхозтоваропроизводителю [7, 8].

Сейчас существует большое количество конструкций сельскохозяйственных машин, которые способны проводить различные технологические операции по поверхностной и мелкой обработке почвы, в том числе по уничтожению сорной растительности, однако, заявленные производителем их технические возможности часто не отвечают в полном объеме агротехническим требованиям, которые предъявляют к указанным видам работ [9–11].

Анализ технических средств для поверхностной и мелкой обработки почвы и уничтожения сорняков показал, что применяемые в настоящее время лапы культиваторов и плоскорезные орудия имеют недостаточную ширину захвата, не имеют возможности изменения угла крошения и непригодны для обработки на большой глубине. Такие рабочие органы не позволяют изменить площадь их фронтальной проекции (поверхности) для снижения тягового сопротивления, не обеспечивают качественный срез мощной корневой системы многолетних сорных растений, периодически забиваются и оставляют некоторое их количество на поле [12, 13].

Одним из главных негативных факторов, полученных на основе практики, является достаточно высокая энергоемкость самого процесса обработки почвы [14, 15].

На основе проведенного анализа с целью повышения эффективности технологических процессов обработки почвы по биологизированным технологиям производства органической продукции в институте агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. Санкт-Петербург) в 2021–2022 гг. был разработан экспериментальный образец комбинированного почвообрабатывающего агрегата (КПМ-2.7) для поверхностной и мелкой обработки почвы с адаптивными рабочими органами (рисунок 1).

Основная отличительная особенность КПМ-2.7 заключается в предложенной новой конструкции рабочих органов серповидной формы, адаптированных к участкам полей с разнообразной сорной растительностью, использование которых обеспечивает полное подрезание однолетних и многолетних сорняков, имеющих мощную корневую систему, рыхление на заданную глубину, а при установке блока пружинных борон – одновременное вычесывание сорной растительности на поверхность [16].



Рисунок 1 – Общий вид комбинированного почвообрабатывающего агрегата КПМ-2.7

Цель исследований – получение экспериментальных данных, позволяющих выявить закономерности изменения энергетических параметров и агротехнических показателей работы экспериментального образца комбинированного почвообрабатывающего агрегата с адаптивными рабочими органами.

Материалы и методы исследований

Объектом исследований является технологический процесс рыхления, подрезания и вычесывания сорной растительности, выполняемый комбинированным почвообрабатывающим агрегатом КПМ-2.7 в агрегате с трактором класса 1.4.

В таблице 1 приведена техническая характеристика КПМ-2.7.

Таблица 1 – Техническая характеристика КПМ-2.7

Параметр		Значение
Тяговый класс трактора		1.4–2
Тип машины		навесная
Рабочая скорость, м/с (км/ч)		1,67–2,78 (6–10)
Рабочая ширина захвата, м:		2,7
Производительность в час, га	основного времени	1,62–2,70
	сменного времени	1,38–2,30
Габаритные размеры, длина/ширина/высота, мм:		2800/2700/1400
Масса машины, кг		910
Глубина обработки почвы, см		5–14
Количество основных рабочих органов (серпообразные лапы), шт.		6
Количество пружинных зубьев, шт.		18
Междуследие основных рабочих органов, мм		840
Транспортная скорость, км/ч		не более 20

Исследования работы экспериментального образца комбинированного почвообрабатывающего агрегата КПМ-2.7 были проведены на территории экспериментально-производственной базы института в сентябре 2022 г.

Агрофон – участок с массовым произрастанием сорной растительности (рисунок 2) на землях сельскохозяйственного назначения в границах территории Пушкинского района г. Санкт-Петербурга. Предшествующая операция – дискование (проведена в июне 2022 г.). Методом подсчета на закрепленных площадках (рамках 1×1 м) генеративных побегов сорных растений (плотность растений) установлено их количество, которое находилось в пределах от 3 до 5 шт./м². На рисунке 2 показано определение количества произрастания стеблей растения на 1м² поля. При этом измеряли среднюю высоту растений, которая составила 18 см на м².



Рисунок 2 – Агрофон перед проведением экспериментальных исследований

Агротехническую оценку работы комбинированного почвообрабатывающего агрегата КППМ-2.7 проводили в соответствии с ГОСТ 33687-2015. «Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний».

Условия проведения исследований, а также физико-механические свойства агрофона участка, на котором выполняли исследования работы КППМ-2.7 сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Условия проведения исследований

Показатель	Значение
Температура атмосферного воздуха, °С	11
Площадь участка, га	0,5
Длина гона поля, м	100
Влажность почвы, %	22
Относительная влажность воздуха, %	74
Средняя скорость ветра, м/с	3,8
Направление ветра	западный, юго-западный
Тип почвы	среднесуглинистая дерново-подзолистая
Рельеф поля, °	1–2
Количество камней, шт./м ²	0,005
Средние размеры камней, мм	250–350
Засоренность поля, шт./м ²	1–2
Твердость почвы до обработки в слое 0–7 см и 0–14 см, МПа	0,21/0,49

Энергетическую оценку комбинированного почвообрабатывающего агрегата КППМ-2.7, агрегируемого с трактором Беларус-82.1 проводили методом буксирования. В качестве буксирующего энергетического средства использовали трактор ДТ-75 (рисунок 3). При этом между энергетическими средствами устанавливали S-образный тензодатчик для передачи сигналов на измерительно-информационную систему ИП-264 разработки ФГНУ «РосНИИТиМ», с помощью которой, используя специальное программное обеспечение «Исследователь» (версия 5.6), проводили обработку полученных данных.



Рисунок 3 – Определение тягового сопротивления комбинированного почвообрабатывающего агрегата КППМ-2.7 методом буксирования

Результаты и их обсуждение

Перед определением показателей качества выполнения технологического процесса для комбинированного почвообрабатывающего агрегата КПМ-2.7 были установлены рациональные скоростные режимы работы применительно к конкретным условиям исследований и глубина обработки.

На рисунке 4 представлены результаты подрезания сорных растений рабочими органами машины серповидной формы.



Рисунок 4 – Подрезанная корневая система сорняка

На рисунке 5 представлены результаты вычесывания подрезанных сорных растений блоком пружинных зубьев бороны, установленной после основных рабочих органов.



Рисунок 5 – Вычесанная на поверхность участка после подрезания корневой системы сорная растительность

На рисунке 6 представлен общий вид участка после работы комбинированного почвообрабатывающего агрегата КПМ-2.7.



Рисунок 6 – Общий вид участка, обработанного агрегатом КПМ-2.7

По результатам обработки полученных экспериментальных данных степень крошения почвы составила 94–97 %, средняя высота гребней и глубина борозд после прохода агрегата – 4,5 см, средняя глубина обработки почвы и подрезания корневой системы сорной растительности – 12 см, что является достаточно глубокой обработкой для удаления сорняков. Кроме того, степень подрезания сорной растительности составила 100 %, то есть, сорняки были подрезаны полностью на всем участке поля. Средняя скорость движения МТА при энергооценке варьировала в пределах 1,83–3,33 м/с, при этом на каждой скорости обеспечивалось полное подрезание сорняков. Результаты показали, что основная часть (92 %) подрезанных корней и стеблей была поднята пружинной бороной на поверхность почвы, что позволило избежать дальнейшего прорастания сорняков.

В таблице 3 приведены значения кинетической энергии \mathcal{E}_k агрегата в зависимости от скорости V_p его движения при средней глубине обработки почвы 12 см.

Таблица 3 – Экспериментальные данные по тяговому сопротивлению и кинетической энергии КПМ-2.7 в агрегате с МТЗ-82.1 в зависимости от скорости его движения

Скорость движения агрегата, V_p , м/с	Кинетическая энергия агрегата, \mathcal{E}_k , кг·м ² /с ² (Вт) / кВт
1,83	8673,65/8,67
2,22	12764,56/12,76
3,33	28720,25/28,72

С повышением скоростного режима работы от 1,83 м/с до 3,33 м/с кинетическая энергия агрегата увеличивается с 8,67 кВт до 28,72 кВт, то есть в 2,31 раза. Величина кинетической энергии существенно влияет на динамику движения агрегата. Саморегулирование баланса между движущей силой агрегата и сопротивлением почвообрабатывающей машины, которое имеет случайный характер, зависит от силы инерции и кинетической энергии, следовательно, чем больше величина кинетической энергии агрегата, тем устойчивее его работа и движение.

На рисунках 7–9 представлены графические зависимости вероятностно-статистических характеристик: тягового сопротивления R_a , среднего квадратического отклонения тягового сопротивления σ_R , коэффициента вариации тягового сопротивления \mathcal{V}_R агрегата, а на рисунке 10 – плотность распределения тягового сопротивления R_a КПМ-2.7 в агрегате с трактором Беларусь-82.1 от скорости движения V_p .

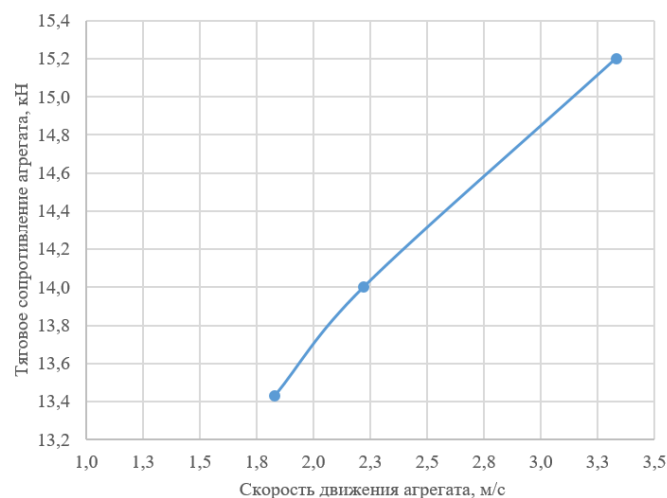


Рисунок 7 – Зависимость тягового сопротивления R_a КПМ-2.7 в агрегате с трактором Беларусь-82.1 от скорости движения V_p

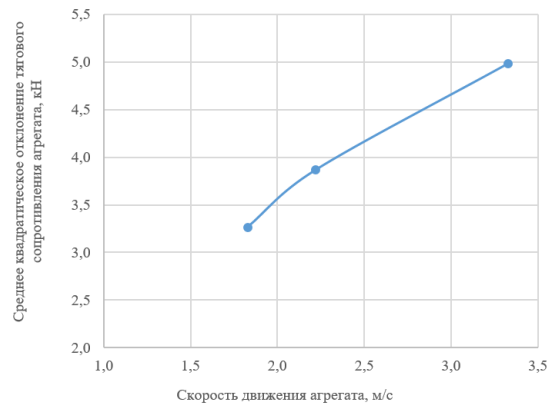


Рисунок 8 – Зависимость среднего квадратического отклонения тягового сопротивления σ_R КПМ-2.7 в агрегате с трактором Беларус-82.1 от скорости движения V_p

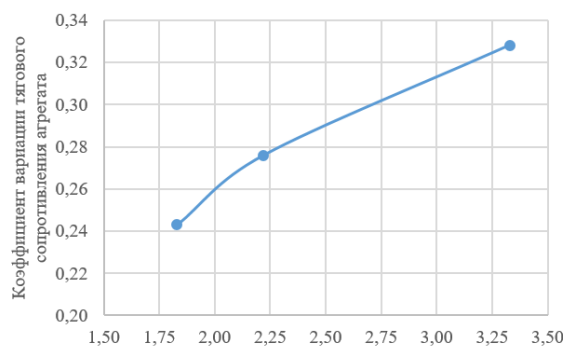


Рисунок 9 – Зависимость коэффициента вариации тягового сопротивления V_R КПМ-2.7 в агрегате с трактором Беларус-82.1 от скорости движения V_p

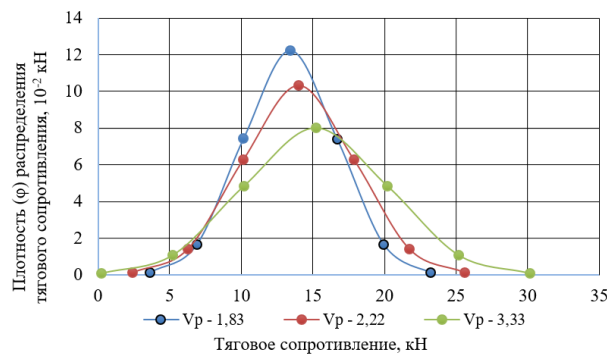


Рисунок 10 – Плотность (ϕ) распределения тягового сопротивления R_a КПМ-2.7 в агрегате с трактором Беларус-82.1 в зависимости от скорости движения V_p при глубине обработки почвы 12 см

С повышением рабочей скорости почвообрабатывающего агрегата КПМ-2.7 наблюдалось изменение вероятностно-статистических характеристик тягового сопротивления R_a . Так, в диапазоне рабочих скоростей от 1,83 м/с до 3,33 м/с среднее значение тягового сопротивления агрегата варьировало от 13,43 кН до 15,2 кН, то есть увеличивалось на 13,2 %, а его среднее квадратическое отклонение – от 3,263 кН до 4,985 кН. В указанных пределах изменения рабочих скоростей коэффициент вариации тягового сопротивления увеличился от 0,243 до 0,328.

Эмпирические частоты тягового сопротивления почвообрабатывающего агрегата КПМ-2.7 выравнивались по теоретическим частотам закона Гаусса.

Вероятность согласия $P(\chi^2)$ находилась в пределах 0,79–0,81, что свидетельствует о высокой степени соответствия колебаний тягового сопротивления R_a нормальному закону распределения (закону Гаусса).

Установлена закономерность изменения тягового сопротивления КПМ-2.7 в агрегате с трактором Беларус-82.1, которая описывается эмпирической зависимостью:

$$R_a = -0,2536V_p^2 + 2,4888V_p + 9,7249. \quad (1)$$

Закономерность изменения среднего квадратического отклонения σ_R (кН) тягового сопротивления КПМ-2.7 можно представить в виде эмпирической зависимости:

$$\sigma_R = -0,35286V_p^2 + 2,96883V_p - 0,98777, \quad (2)$$

Выявлена закономерность изменения коэффициента вариации v_R (%) тягового сопротивления КПМ-2.7, которая описывается уравнением:

$$v_R = -2,51790V_p^2 + 18,65904V_p - 1,41385, \quad (3)$$

На рисунке 11 представлена зависимость производительности W_q комбинированного почвообрабатывающего агрегата КПМ-2.7 в агрегате с трактором Беларус-82.1 от скорости движения V_p .

Данный график показывает, что при увеличении скорости движения агрегата с 1,83 м/с до 3,33 м/с производительность увеличивается от 1,48 до 2,65 га/ч, то есть на 79 %.

Закономерность изменения производительности комбинированного почвообрабатывающего агрегата КПМ-2.7 с трактором Беларус-82.1 описывается следующей эмпирической зависимостью:

$$W_q = 0,0328V_p^2 + 0,6107V_p + 0,2525, \text{ га/ч} \quad (4)$$

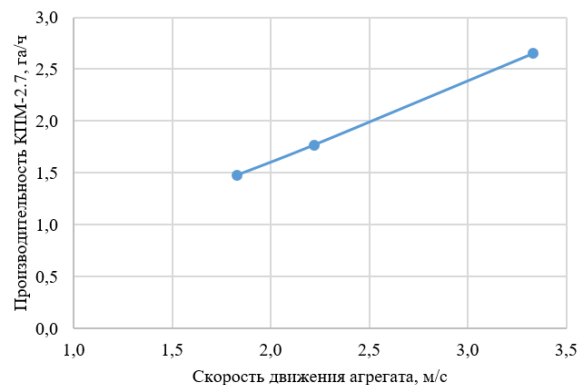


Рисунок 11 – Зависимость производительности W_q КПМ-2.7 в агрегате с трактором Беларус-82.1 от скорости его движения V_p

На рисунке 12 представлена графическая зависимость условного тягового КПД $\eta_{ту}$ трактора Беларус-82.1 при работе с КПМ-2.7.

При увеличении скорости движения агрегата с 1,83 м/с до 3,33 м/с условный тяговый КПД увеличивается с 0,41 до 0,85, то есть на 107 %.

Установлена эмпирическая зависимость, описывающая закономерность изменения условного тягового коэффициента полезного действия трактора Беларус-82.1 в агрегате с КПМ-2.7:

$$\eta_{ту} = 0,0102V_p^2 + 0,2409V_p - 0,0649, \% \quad (5)$$

Эмпирические зависимости (1–5) справедливы в диапазоне рабочих скоростей от 1,83 до 3,33 м/с КПМ-2.7 в агрегате с трактором Беларус-82.1 при глубине обработки почвы $h_{см} = 12$ см.

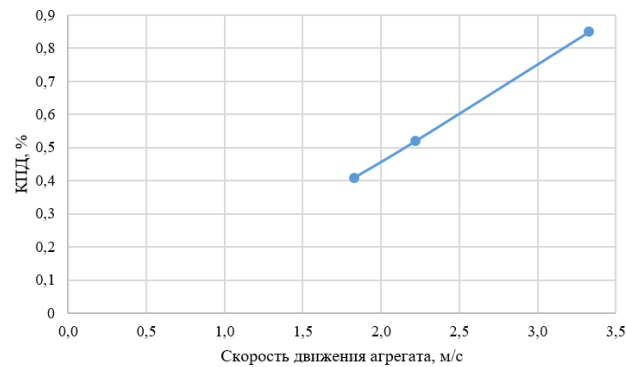


Рисунок 12 – Зависимость условного тягового КПД трактора Беларус-82.1 при работе с КПМ-2.7 от скорости движения V_p

Анализ изменения КПД (см. рисунок 10) показывает, что комбинированный почвообрабатывающий агрегат КПМ-2.7 обеспечивает рациональную загрузку двигателя ММЗ Д-243S2 трактора Беларус-82.1 в диапазоне рабочих скоростей от 2,5–3,0 м/с. Значение КПД также свидетельствует о совершенстве конструкции разработанной машины КПМ-2.7 при работе с трактором Беларус-82.1.

В целом, результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что почвообрабатывающий агрегат КПМ-2.7 с адаптивными серпообразными рабочими органами обеспечивает рациональную загрузку трактора Беларус-82.1 и качественное выполнение технологического процесса поверхностной и мелкой обработки почвы, включая подрезание и вычёсывание сорной растительности.

Выводы

Установлены показатели качества технологического процесса, такие как глубина обработки, гребнистость поверхности почвы, степень её рыхления, качество подрезания и вычёсывания сорной растительности, по которым произведена оценка работы машины КПМ-2.7 с адаптивными серпообразными рабочими органами в агрегате с трактором класса 1.4.

На основе экспериментальных данных получены эмпирические зависимости, описывающие закономерности изменения вероятностно-статистических характеристик тягового сопротивления, среднего значения производительности КПМ-2.7 в агрегате с трактором Беларус-82.1 и его тягового КПД.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что комбинированный почвообрабатывающий агрегат КПМ-2.7 обеспечивает рациональную загрузку двигателя ММЗ Д-243S2 трактора Беларус-82.1 в диапазоне рабочих скоростей от 2,5–3,0 м/с.

Значение КПД подтверждает эффективность конструкции разработанной машины КПМ-2.7 при агрегатировании с трактором Беларус-82.1. Выявленные закономерности изменения тягового сопротивления, производительности, тягового КПД трактора и показатели качества технологического процесса позволяют обосновать рациональные параметры и режимы работы КПМ-2.7 с адаптивными рабочими органами для поверхностной и мелкой обработки почвы с уничтожением сорной растительности с мощной корневой системой.

Литература

1. Валиев А. Р. Энергоресурсосберегающие технические средства для адаптивных систем обработки почвы // Материалы выездного заседания Бюро секции механизации, электрификации и автоматизации Отделения сельскохозяйственных наук РАН «Высокотехнологическое импортопереживание при возделывании сельскохозяйственных культур, восстановлении сенокосов и пастбищ. Подготовка специалистов для проектирования, создания и внедрения импортопереживающей инновационной техники в сельскохозяйственное производство». Казань: Казанский ГАУ, 2015. С. 143–151.

2. Юдина Е. М., Юдин М. О., Журий И. А. Перспективы создания отечественных комбинированных агрегатов для обработки почвы // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 1. С. 46–50.
3. Труфляк Е. В. Интеллектуальные технические средства в сельском хозяйстве // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4. С. 25–34.
4. Колчин Н. Н., Зволинский В. Н. Задачи и проблемы возрождения отечественного сельскохозяйственного машиностроения // Тракторы и сельхозмашины. 2020. Т. 87. № 1. С. 77–81. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-1-77-81.
5. Джабборов Н. И., Добринов А. В. Обоснование конструктивных параметров рабочего органа для рыхления почвы и уничтожения сорных растений в органическом земледелии // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15. № 1(72). С. 23–33. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_23.
6. Максимов В. И., Максимов И. И. Энергетический подход к оценке почвообрабатывающих машин и орудий // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 5. С. 25–28.
7. Бухтояров Н. И., Пашута А. О., Солодовникова М. П. Развитие системы земельных отношений в аграрной сфере. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет, 2016. 190 с.
8. Баздырев Г. И. Эффективность длительного применения почвозащитных технологий // Известия ТСХА. 2005. Вып. 4. С. 32–39.
9. Греков С. Е., Цепляев А. Н., Абезин В. Г. Разработки и обоснование конструкции рабочего органа для поверхностной и мелкой обработки почвы // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2010. № 4(20). С. 186–194.
10. Добринов А. В., Джабборов Н. И., Чугунов С. В. Сравнительная оценка эффективности рабочих органов для обработки почвы и уничтожения сорных растений // Известия НВ АУК. 2022. № 2(66). С. 465–480. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-02-57.
11. Яковлев Н. С., Назаров Н. Н., Рассомахин Г. К., Маркин В. В., Черных В. И. Изменение верхнего слоя почвы в зависимости от вида ее обработки // Вестник ВСГУТУ. 2019. № 1(72). С. 63–68.
12. Яковлев Н. С., Блынский Ю. Н., Назаров Н. Н., Черных В. И. Качество обработки почвы в зависимости от размера лап, скорости агрегата и влажности почвы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2016. № 4. С. 97–103.
13. Греков С. Е. Обоснование оптимальных параметров рабочего органа для поверхностной обработки почвы // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2010. № 3 (19). С. 198–205.
14. Яковлев Н. С., Блынский Ю. Н., Назаров Н. Н. Влияние ширины культиваторных лап на качество обработки почвы // Вестник АГАУ. 2016. № 8. С. 156–162.
15. Абдрахманов Р. К. Машины и орудия для междурядной обработки почвы (конструкция, расчет, эксплуатация). Казань: Изд-во Казанского университета, 2001. 148 с.
16. Патент РФ 2769225. «Рабочий орган для рыхления почвы и уничтожения сорной растительности» // Авторы: Джабборов Н. И., Добринов А. В., Сергеев А. В., Чугунов С. В., Шамонин В. И.: Патентообладатель ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». 29.03.2022. Бюлл. № 10. 9 с.

References

1. Valiev A. R. Resource-saving tillage implements for adaptive tillage systems // Materials of the visiting meeting of the Bureau of the Section of Mechanization, Electrification and Automation of the Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences “High-tech import advance in the cultivation of agricultural crops, restoration of hayfields and pastures. Training of specialists for the design, creation and implementation of the import-advanced innovative equipment in agricultural production”. Kazan: Kazan State Agrarian University, 2015. P. 143–151.
2. Yudina E. M., Yudin V. O., Zhuriy I. A. Prospects for the creation of domestic combined aggregates for tillage // Izvestiya of Velikiye Luki State Agricultural Academy. 2015. No. 1. P. 46–50.
3. Truflyak E. V. Intellectual technical means in agriculture // Izvestiya of Velikiye Luki State Agricultural Academy. 2015. No. 4. P. 25–34.
4. Kolchin N. N., Zvolinsky V. N. Tasks and problems of the revival of domestic agricultural engineering // Tractors and agricultural machinery. 2020. Vol. 87. No. 1. P. 77–81. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-1-77-81.
5. Dzabborov N. I., Dobrinov A. V. Validation of the design parameters of the tillage tool developed for soil loosening and clean weeding in organic farming. // Vestnik of Voronezh State Agrarian University. 2022. Vol. 15. No. 1. P. 23–33. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_23.
6. Maksimov V. I., Maksimov I. I. Energy approach to the assessment of tillage machines and implements // Tractors and agricultural machinery. 2008. No. 5. P. 25–28.
7. Bukhtoyarov N. I., Pashuta A. O., Solodovnikova M. P. Development of the system of land relations in the agrarian sphere. Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2016. 190 p.

8. Bazdyrev G. I. Effectiveness of long-term application of soil protection technologies // Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2005. Iss. 4. P. 32–39.
9. Grekov S. E., Tseplyaev A.N., Abezin A.G. Working body for surface and shallow soil cultivation construction development and substantiation // Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2010. No. 4(20). P. 186–194.
10. Dobrinov A. V., Dzhabborov N. I., Chugunov S. V. Comparative assessment of the efficiency of working parts for soil treatment and destruction of weeds // Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2022. No. 2(66). P.465–480. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-02-57.
11. Yakovlev N. S., Nazarov N. N., Rassomakhin G. K. Markin V. V., Chernykh V. I. The topsoil layer changing depending on the type of its treatment // ESSUTM Bulletin. 2019. No. 1(72). P. 63–68.
12. Yakovlev N. S., Blynsky Yu. N., Nazarov N. N., Chernykh V.I. Tillage quality depending on hoe size, unit's speed and soil moisture // Siberian Herald of Agricultural Science. 2016. No. 4. P. 97–103.
13. Grekov S. E. Substantiation of optimal parameters of the working body for surface tillage // Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2010. No. 3 (19). P. 198–205.
14. Yakovlev N.S., Blynsky Yu. N., Nazarov N. N. Studying the effect of hoe blade size on tillage quality // Bulletin of Altai State Agricultural University. 2016. No. 8. P.156–162.
15. Abdrakhmanov R. K. Machines and tools for row-to-row tillage (design, calculation, operation). Kazan: Kazan University Publ., 2001. P. 148.
16. RF Patent No. 2769225. "Working member for soil loosening and weeds destruction" // Authors: Dzhabborov N. I., Dobrinov A. V., Sergeev A.V., Chugunov S.V., Shamoin V.I. Patent holder: Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM". 29.03.2022. Bull No. 10. 9 p.

UDC 631.316.2:631.316.6

Dzhabborov N. I., Dobrinov A. V., Komoedov A. D.

EVALUATION OF THE WORK OF A COMBINED TILLAGE UNIT WITH ADAPTIVE WORKING BODIES

Summary. *Development of specialized machines for soil loosening and weed destruction, and at the same time justification of rational modes of operation, which would meet the requirements of environmental safety and energy saving standards, as well as quality of operations, is one of the key areas for the development of intensive and organic crop production in the agro-industrial complex. The purpose of the research was to obtain experimental data that make it possible to identify patterns of changes in energy parameters and agrotechnical performance of an experimental sample of a combined tillage unit with adaptive working bodies. The object of the research was the technological process of loosening, cutting and combing out weeds performed by a combined tillage unit KPM-2.7 in an aggregate with a class 1.4 tractor. According to the results of the agrotechnical assessment of the work of KPM-2.7, the degree of soil crumbling was 94–97%, the height of ridges – 4.5 cm, the average depth of soil tillage and, accordingly, cutting of the root system of weeds – 12 cm, the quality of weeds cutting – 100%. Average speed of MTA varied within 1.83-3.33 m/s. In addition, the main part (92%) of the weeds that were cut by the studied unit was raised by a spring harrow to the soil surface. Based on experimental data, empirical dependences were obtained; they describe the patterns of change in the probabilistic-statistical characteristics of traction resistance, the average value of the KPM-2.7 performance in the assembly with the Belarus-82.1 tractor and its traction efficiency. The research results indicate that the combined tillage unit KPM-2.7 provides rational loading of the MMZ D-243S2 engine of Belarus-82.1 in the operating speed range from 2.5-3.0 m/s. The efficiency value confirms the effectiveness of the design of the KPM-2.7 when it is aggregated with Belarus-82.1. The revealed patterns of changes in traction resistance, productivity, traction efficiency of the tractor and indicators of the quality of the technological process make it possible to substantiate the rational parameters and operating modes of the KPM-2.7 with adaptive working bodies for surface and shallow tillage, as well as for destruction of weeds with a powerful root system.*

Keywords: *surface and shallow tillage, loosening, cutting weeds, tillage unit, adaptive working bodies, traction resistance, productivity, efficiency.*

Джабборов Нозим Исмоилович, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела агроэкологии в растениеводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр ВИМ»; 196634, Россия, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Филътровское шоссе, 3; e-mail: nozimjon-59@mail.ru.

Добринов Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела агроэкологии в растениеводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр ВИМ»; 196634, Россия, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Филътровское шоссе, 3; e-mail: a.v.dobrinov@yandex.ru.

Комоедов Алексей Дмитриевич, младший сотрудник отдела агроэкологии в растениеводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр ВИМ»; 196634, Россия, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Филътровское шоссе, 3; e-mail: komoedov.alexej@yandex.ru.

Dzhabborov Nozim Ismoilovich, Dr. Sc. (Techn.), professor, leading researcher, Department of agroecology in crop production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoye Shosse, Tyarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia; nozimjon-59@mail.ru.

Dobrinov Aleksandr Vladimirovich, Cand. Sc. (Techn.), associate professor, senior researcher, Department of agroecology in crop production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoye Shosse, Tyarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia; a.v.dobrinov@yandex.ru.

Komoedov Aleksey Dmitrievich, junior researcher, Department of agroecology in crop production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoye Shosse, Tyarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia; komoedov.alexej@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 18.08.2023.

Дата принятия к печати – 21.09.2023

DOI 10.5281/zenodo.10135164

EDN QMFKIP

УДК 579.64:635.65

Дидович С. В., Горгулько Т. В., Пась А. Н., Алексеенко О. П., Бараташвили З. А.

СКРИНИНГ ШТАММОВ КЛУБЕНЬКОВЫХ БАКТЕРИЙ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ СИМБИОТИЧЕСКОЙ АЗОТФИКСАЦИИ НА БОБОВЫХ КУЛЬТУРАХ

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. Бобовые культуры являются экологически безопасным источником растительного белка, служат для поддержания азотного баланса почвы и её плодородия. Нитрагинизация семян микробными препаратами на основе штаммов клубеньковых бактерий обеспечивает формирование бобово-ризобияльного взаимодействия и образование азотфиксирующих корневых клубеньков, в которых запускается процесс симбиотической азотфиксации и питание растений симбиотическим азотом. Для интенсификации симбиотической азотфиксации и повышения продуктивности бобовых культур необходимо проводить селекцию ризобияльных штаммов на высокую эффективность в симбиозе с возделываемыми сортами. Цель исследований – скрининг штаммов клубеньковых бактерий с высокой симбиотической эффективностью для современных сортов сои, нута, гороха. Эксперимент проводили в 2022 г. в условиях вегетационного опыта в сосудах объемом 300 мл на черноземе южном по фону почвенной популяции клубеньковых бактерий специфичных бобовым культурам на сортах сои Марина, Османь, Покровская, нута – Донплаза, гороха – Эстафета, Ягуар. Инокуляцию осуществляли перед посевом семян суспензией штаммов клубеньковых бактерий из коллекции НИИСХ Крыма (<http://skp-rf.ru/usu/507484/>): для сои – *Bradyrhizobium japonicum* Д-2, 36/46, Х-9, *B. ottawaense* М-8; нута – *Mesorhizobium ciceri* Н-12, А-46, 068, НС-6, А-44; гороха – *Rhizobium leguminosarum* К-29, У-1, У-2, 65 и сетевой биоресурсной коллекции в области генетических технологий для сельского хозяйства ФГБНУ ВНИИСХМ: *B. japonicum* 634б, *R. leguminosarum* 261б с инокуляционной нагрузкой 10^6 бактерий/семя. В контроле семена обрабатывали водой. В результате исследований проведен скрининг штаммов клубеньковых бактерий на симбиотическую эффективность с сортами сои, нута, гороха. На трех сортах сои, инокулированной штаммами *B. japonicum* и *B. ottawaense*, достоверное увеличение высоты составило 6,9–11,7 см/растение (23,1–36,7 %), на нуте сорта Донплаза при бактериализации штаммом *M. ciceri* А-46 получена существенная прибавка фитомассы – 1,36 г/растение (38,1 %), у гороха сорта Ягуар при обработке штаммами *R. leguminosarum* У-1, У-2, К-29, 65 – 0,3–0,7 г/растение (17,6–40,2 %) ($p < 0,05$).

Ключевые слова: клубеньковые бактерии, бобовые растения, эффективность, продуктивность.

Для цитирования: Дидович С. В., Горгулько Т. В., Пась А. Н., Алексеенко О. П., Бараташвили З. А. Скрининг штаммов клубеньковых бактерий по эффективности симбиотической азотфиксации на бобовых культурах // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3 (35). С. 64–73. EDN: QMFKIP. DOI: 10.5281/zenodo.10135164.

For citation: Didovich S. V., Gorgulko T. V., Pas' A. N., Alekseenko O. P., Baratashvili Z. A. Screening of nodule bacteria strains for symbiotic nitrogen fixation efficiency on legumes // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3(35). P. 64–73. EDN: QMFKIP. DOI: 10.5281/zenodo.10135164.

Введение

Важнейшей особенностью экологического земледелия является использование биологического азота, благодаря которому обеспечивается азотный баланс и плодородие почвы, что позволяет получить экологически безопасную, качественную продукцию растениеводства [1–5].

Благодаря биологической фиксации азота воздуха у однолетних бобовых культур (сои, гороха, нута, вики, фасоли, бобов и др.) в результате симбиоза с соответствующими видами клубеньковых бактерий уровень азотфиксации ежегодно составляет от 60 до 200 кг/га [6, 7] и удовлетворяет потребности питания растения в этом элементе на 50–90 %.

Результаты многолетних зарубежных и отечественных исследований свидетельствуют, что для оптимизации азотного питания растений и повышения их продуктивности необходима предпосевная инокуляция семян микробными препаратами на основе высокоэффективных селекционных штаммов клубеньковых бактерий, специфичных для каждой бобовой культуры [8–12]. Благодаря данному агроприему обеспечивается не только формирование бобово-ризобийных структур – азотфиксирующих корневых клубеньков, где активно проходят процессы биологической азотфиксации, но и отмечается стимуляция роста и развития бобовых культур [13, 14]. Установлено, что бактериализация повышает иммунный статус и устойчивость растений к фитопатогенным микроорганизмам, обеспечивая снижение поражаемости болезнями в 1,5–10 раз, улучшая фитосанитарную обстановку в почве [15]. Экспериментально показано на примере гороха, что бактериализация усиливает устойчивость растений к неблагоприятным условиям (засуха, заморозки, пониженные или повышенные температуры, повышенное содержание солей) [16] и обеспечивает повышение его продуктивности на 10–30 % и содержания белка в зерне на 2–6 %. Кроме того, в зарубежной литературе встречаются данные о повышении резерва азотфиксирующего потенциала бобово-ризобийной системы до 15–50 % благодаря применению фосфатмобилизирующих и биопротекторных микроорганизмов [17, 18]. Такие перспективы применения микробных препаратов, несомненно, позволят рационально использовать потенциал фундаментальных природных процессов, таких, как азотфиксация, фосфатмобилизация и биостимуляция с участием агрономически ценных микроорганизмов, обеспечить экономию энергии и круговорот веществ в агроценозах и экосистемах, сохранить и улучшить плодородие почв, получить высокое качество и безопасность продуктов питания.

Цель исследований – скрининг штаммов клубеньковых бактерий с высокой симбиотической эффективностью для сортов сои Марина, Османь и Покровская, нута – Донплаза, гороха – Эстафета и Ягуар.

Материалы и методы исследований

В исследовании использованы штаммы клубеньковых бактерий из коллекции ФГБУН «НИИСХ Крыма» (<http://ckp-rf.ru/usu/507484/>): *Bradyrhizobium japonicum* Д-2, 36/46, Х-9, *B. ottawaense* М-8, *Mesorhizobium ciceri* Н-12, А-46, 068, НС-6, А-44, *Rhizobium leguminosarum* К-29, У-1, У-2, 65, а также сетевой биоресурсной коллекции в области генетических технологий для сельского хозяйства ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии»: *B. japonicum* 6346, *R. leguminosarum* 2616. Опыты проводили в 2022 г. на современных сортах бобовых культур российской селекции: сое – Марина, Османь, Покровская, нуте – Донплаза, горохе – Эстафета, Ягуар.

В вегетационных опытах растения выращивали в условиях теплицы в сосудах с перфорированным дном, объемом 300 мл на черноземе южном слабогумусированном, характеризующимся средней обеспеченностью обменным калием, подвижным

фосфором и низкой – легкогидролизуемым азотом, с фоном почвенной популяции ризобий 0,1–10 клубенькообразующих единиц/г в слое почвы 0–10 см. Семена поверхностно стерилизовали 96 % этанолом в течение пяти минут, высушивали на воздухе и перед высевом в почву обрабатывали суспензией 5-7-суточного штамма клубеньковых бактерий из расчета 10^6 бактерий/семя. Плотность суспензии клубеньковых бактерий для дозирования инокуляционной нагрузки определяли на фотоэлектроколориметре (КФК-2) в кюветах с рабочей длиной 30,110 мм при зеленом световом фильтре с длиной волны 315 нм. Растения выращивали до фазы «начало цветения» – в зависимости от культуры и сорта – 3–4,5 недели. Эффективность симбиотической азотфиксации оценивали по количеству азотфиксирующих клубеньков, высоте и фитомассе растений. Повторность опыта шестикратная [19–21].

Статистическую обработку результатов исследования проводили согласно общепринятым методам математической статистики при помощи стандартного пакета документов Microsoft Office Excel 2007 [22]. Достоверность отличий оценивали по критерию Стьюдента при $p < 0,05$. В графиках представлены средние значения и их стандартные ошибки.

Результаты и их обсуждение

Наши исследования показали, что на всех изучаемых сортах сои в контроле наблюдали образование азотфиксирующих клубеньков представителями ризобий почвенной популяции в количестве 7,4–13,5 ед./растение.

Бактеризация семян штаммами *V. japonicum* 6346, X-9, Д-2, 36/46 и *V. ottawaense* М-8 сои сорта Марина обеспечила образование азотфиксирующих корневых клубеньков, которое составило 12,0–15,1 ед./растение, существенно больше на 62,2–104,1 % в сравнении с эффективностью почвенной популяции ризобий ($p < 0,05$) (рисунок 1). Инокуляция семян сои сорта Покровская штаммом Д-2 обеспечила формирование азотфиксирующих клубеньков в количестве 13,3 ед./растение, что значительно превысило контроль на 46,2 % ($p < 0,05$). У сорта Османь при обработке штаммом X-9 сформировалось 16,0 ед./растение азотфиксирующих клубеньков, достоверно больше на 18,5 % по сравнению с контролем ($p < 0,05$).

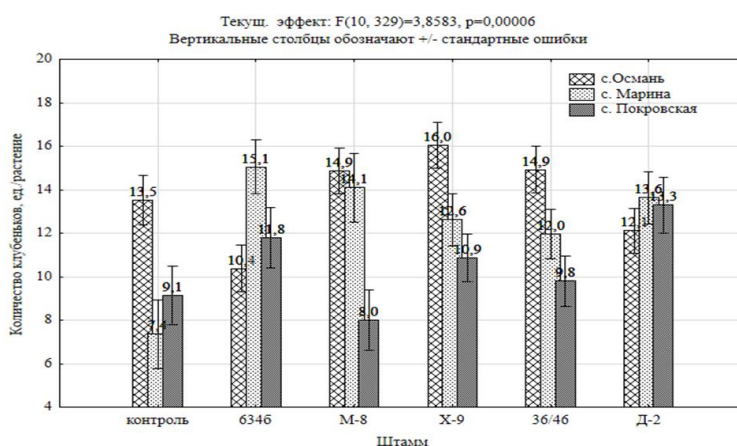


Рисунок 1 – Влияние штаммов рода *Bradyrhizobium* на клубенькообразование на корнях сортов сои (вегетационный опыт)

Бактеризация всеми исследуемыми штаммами *V. japonicum* и *V. ottawaense* достоверно увеличила высоту растений сои сорта Марина на 8,4–11,7 см/растение (26,4–36,7 %) по сравнению с контролем ($p < 0,05$) (рисунок 2). Высота инокулированных штаммами 36/46 и X-9 растений сорта Османь существенно превышала контроль – на 11,6–10,7 см/растение (27,1–24,9 %), у сорта Покровская в

вариантах с инокуляцией штаммами 36/46, Д-2, 6346 и Х-9 – на 6,9–9,7 см/растение (23,1–32,3 %). Показатели фитомассы сортов сои были в пределах ошибки опыта ($p < 0,05$). Однако следует обратить внимание на тенденцию прибавки фитомассы сои сорта Марина на 0,51 г/растение (12,4 %), что может свидетельствовать о вариабельности данного признака и отзывчивости растений на обработку штаммом *B. ottawaense* М-8 по отношению к контролю и эффективности почвенной популяции.

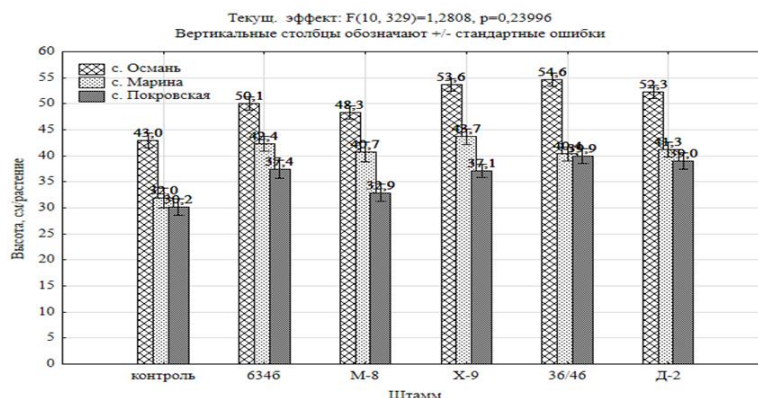


Рисунок 2 – Влияние штаммов рода *Bradyrhizobium* на высоту растений сортов сои (вегетационный опыт)

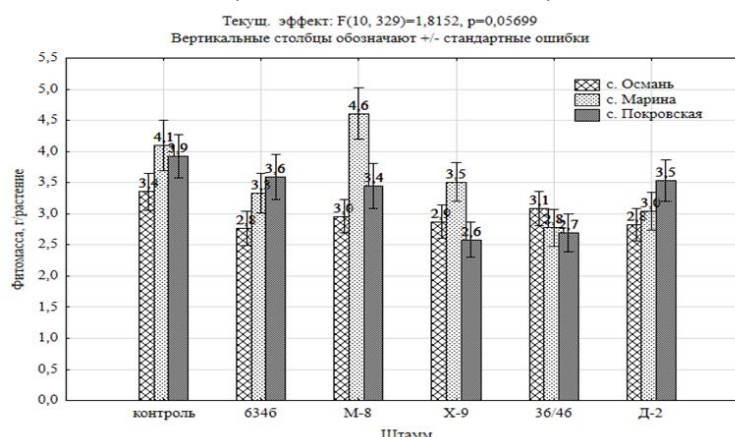


Рисунок 3 – Влияние штаммов рода *Bradyrhizobium* на фитомассу растений сортов сои (вегетационный опыт)

Изучение эффективности симбиотической азотфиксации штаммов на сорте нута Донплаза позволило выявить высокоэффективные штаммы *M. ciceri*. Во всех вариантах с бактеризацией формировались азотфиксирующие клубеньки в количестве 2,8–7,78 ед./растение, в контроле клубеньки практически отсутствовали. Штамм НС-6 обеспечил образование максимального количества азотфиксирующих клубеньков – 7,7 ед./растение, что больше в 77 раз в сравнении с контролем по фону почвенной популяции ризобий ($p < 0,05$) (рисунок 4).

Наши исследования показывают, что бактеризация штаммами *M. ciceri* способствовала достоверному увеличению высоты растений нута во всех варианта опыта на 5,9–11,3 см/растение (в 1,2–1,4 раза или на 19,3–37,1 %) ($p < 0,05$) (рисунок 5), при этом бактеризация штаммом А-46 увеличила фитомассу растений на 1,36 г/растение (38,1 %) в сравнении с контролем, а остальные варианты с бактеризацией по данному показателю были на уровне контрольного варианта (5,5 г/растение) в пределах ошибки опыта ($p < 0,05$). (рисунок 6).

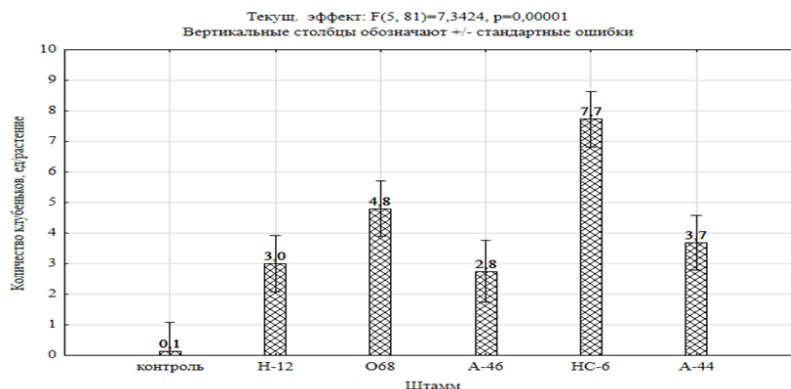


Рисунок 4 – Влияние штаммов *Mesorhizobium ciceri* на клубенькообразование на корнях нута сорта Донплаза (вегетационный опыт)

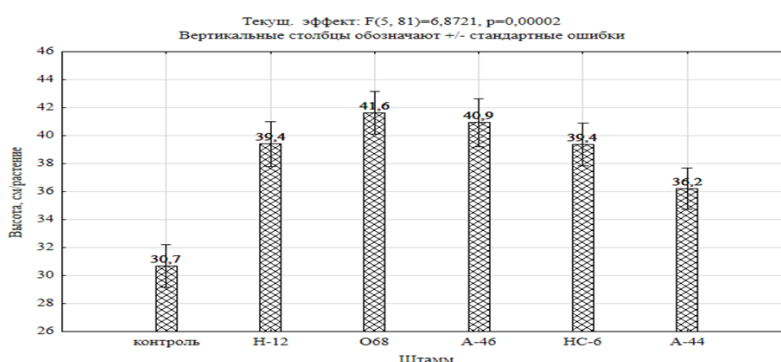


Рисунок 5 – Влияние штаммов *Mesorhizobium ciceri* на высоту нута сорта Донплаза (вегетационный опыт)

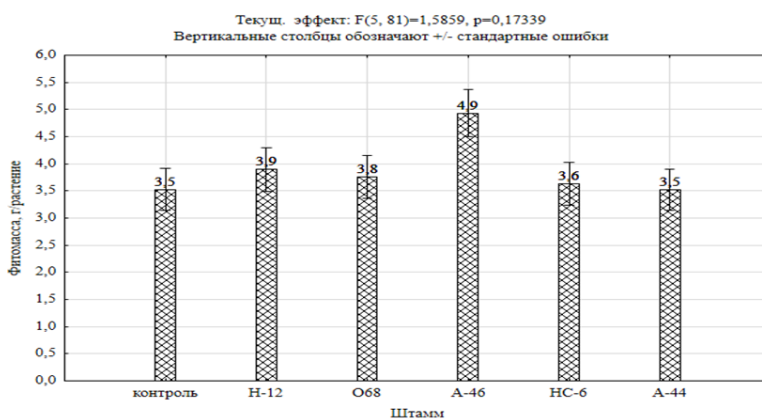


Рисунок 6 – Влияние штаммов *Mesorhizobium ciceri* на фитомассу нута сорта Донплаза (вегетационный опыт)

Исследования, проведенные на двух сортах гороха, позволили установить, что практически на всех сортах сформировались азотфиксирующие клубеньки: на сорте Ягуар в количестве 2,6 ед./растение, на сорте Эстафета – 9,4 ед./растение (рисунок 7). У сорта Ягуар бактеризация штаммами *R. leguminosarum* существенно увеличила количество азотфиксирующих клубеньков – на 3,1–10,3 ед./растение (в 2,2–5,0 раз), у сорта Эстафета при обработке штаммом 2616 и 65 данный показатель был на уровне контроля в пределах ошибки опыта ($p<0,05$).

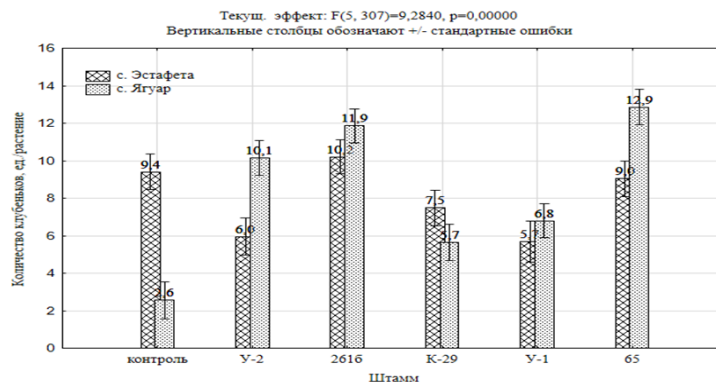


Рисунок 7 – Влияние штаммов *Rhizobium leguminosarum* на клубенькообразование на корнях сортов гороха (вегетационный опыт)

Бактеризация штаммами *R. leguminosarum* 65, У-2, К-29, У-1 способствовала достоверному повышению высоты гороха сортов Эстафета, Ягуар на 3,2–8,0 см/растение (12,7–35,4 %) (рисунок 8) и фитомассы сорта Ягуар на 0,3–0,7 г/растение (17,6–40,2 %) в сравнении с контролем (p<0,05) (рисунок 9).

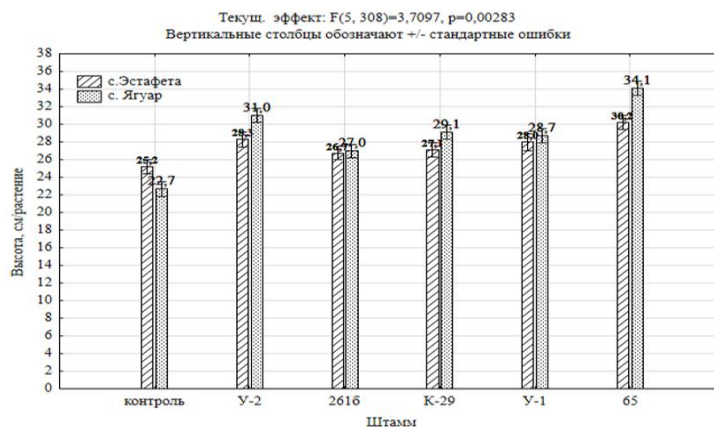


Рисунок 8 – Влияние штаммов *Rhizobium leguminosarum* на высоту растений сортов гороха (вегетационный опыт)

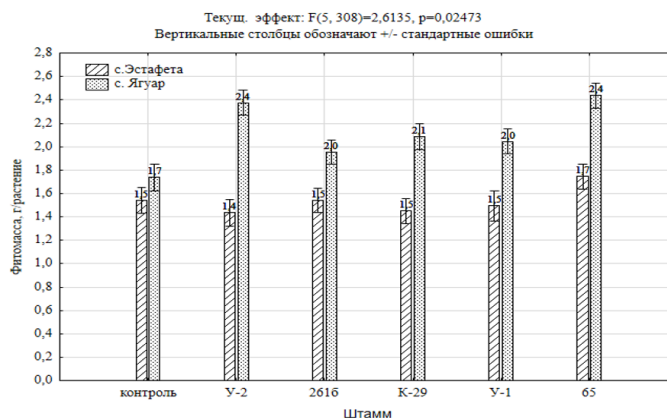


Рисунок 9 – Влияние штаммов *Rhizobium leguminosarum* на фитомассу сортов гороха (вегетационный опыт)

В результате проведенного скрининга штаммов клубеньковых бактерий, специфичных сое, нуту, гороху в условиях вегетационных опытов установлена

избирательная отзывчивость современных сортов изучаемых бобовых культур на бактеризацию и выявлена высокая эффективность применения для предпосевной обработки семян. Высокоэффективные штаммы могут быть рекомендованы для полевых испытаний и в дальнейшем использованы как основа микробных препаратов при выращивании данных бобовых культур.

Выводы

Установлено, что три исследуемых сорта сои по клубенькообразованию были избирательно отзывчивы на бактеризацию коллекционными штаммами *B. ottawaense* и *B. japonicum*, при этом достоверно повысили высоту растений на 6,9–11,7 см/растение (23,1–36,7 %), однако по фитомассе были на уровне контроля ($p < 0,05$). Показана высокая эффективность бактеризации штаммами *M. ciceri* нута сорта Донплаза, обеспечившая формирование азотфиксирующих клубеньков в количестве 2,8–7,7 ед./растение (больше в 28–77 раз в сравнении с контролем) и существенное увеличение высоты растений – на 5,8–11,2 см/растение (19,2–37,0 %), по фитомассе достоверную прибавку – 3,5–4,9 г/растение (38,1 %) получено при бактеризации штаммом *M. ciceri* А-46. Из двух сортов гороха, отзывчивых на бактеризацию штаммами *R. Leguminosarum*, выявлен сорт Ягуар, на котором достоверной и высокоэффективной была инокуляция штаммами *R. leguminosarum* У-1, У-2, К-29, 65, что способствовало формированию азотфиксирующих клубеньков в количестве 2,6–2,9 ед./растение, повысило высоту растений на 1,9–11,4 см/растение (7,5–50,2 %) и их фитомассу – на 0,3–0,7 г/растение (17,2–40,2 %) ($p < 0,05$).

Литература

1. Завалин А. А., Благовещенская Г. Г., Шмырева Н. Я., Чернова Л. С., Соколов О. А., Алферов А. А., Самойлов Л. Н. Современное состояние проблемы азота в мировом земледелии // Агрехимия. 2015. № 5. С. 83–95.
2. Зотиков В. И., Сидоренко В. С., Грядунюва Н. В. Развитие производства зернобобовых культур в Российской Федерации // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. № 2 (26). С. 4–9. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-10008.
3. Донская М. В., Донской М. М. Использование микробиологических препаратов при возделывании перспективных сортов нута и чины в Орловской области. // Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 1(45). С. 33–39. DOI: 10.24412/2309-348 X-2023-1-33- 39.
4. Степанов А. Ф., Чибис С. П., Христин В. В., Александрова С. Н., Храмов С. Ю. Азотфиксирующая способность и роль бобовых трав в биологизации земледелия // Земледелие. 2023. № 1. С. 18–22. DOI: 10.24412/0044-3913- 2023-1-18-22.
5. Новиков М. Н. Биологические приемы эффективного использования азота почвы, удобрений, симбиотической азотфиксации в полевых агроценозах // Агрехимия. 2020. № 8. С. 60–69. DOI:10.31857/S0002188120080086.
6. Кокорина А. Л. Бобово-ризобийный симбиоз и применение микробиологических препаратов комплексного действия – важный резерв повышения продуктивности пашни. Санкт-Петербург: СПбГАУ, 2010. 50 с.
7. Завалин А. А., Алферов А. А., Чернова Л. С. Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // Агрехимия. 2019. № 8. С. 83–96. DOI: 10.1134/S0002188119080143.
8. Belyavskaya L., Belyavskiy Yu., Kulyk M., Taranenko A., Didovich S. Soybean growing under inoculation by *Bradyrhizobium japonicum* strains in the forest-steppe and steppe zones of Ukraine // Zemdirbyste-Agriculture. 2022. Vol. 109. No. 3. P. 203–210. DOI: 10.13080/z-a.2022.109.026.
9. Дубинкина Е. А., Шабалкин А. В., Макаров М. Р. Изучение обработки семян и растений сои инокулянтами и микробиологическими удобрениями в Центральном Черноземье // Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 1(45). С. 50–58. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-1-50-58.
10. Smirnova I. E., Babaeva Sh. A., Fayzulina E. R., Tatarkina L.G., Spankulov G.A. Isolation of nodule bacteria promising for growing soybean culture // Microbiology virology. 2022. No. 2(37). P. 32–40. DOI: 10.53729/MV-AS.2022.
11. Mathenge C., Thuita M., Masso C., Gweyi-Onyango J., Vanlauwe B. Variability of soybean response to rhizobia inoculant, vermicompost, and a legume-specific fertilizer blend in Siaya County of Kenya // Soil and Tillage Research. 2019. Vol. 194(1). Art. No. 104290. DOI: 10.1016/j.still.2019.06.007.

12. Han Q., Ma Q., Chen Y., Tian B., Xu L., Bai Y., Chen W., Li X. Variation in rhizosphere microbial communities and its association with the symbiotic efficiency of rhizobia in soybean // *The ISME Journal*. 2020. Vol. 14(8). P. 1915–1928. DOI: 10.1038/s41396-020-0648-9.
13. Garcia M. V. C., Nogueira M. A., Hungria M. Combining microorganisms in inoculants is agronomically important but industrially challenging: case study of a composite inoculant containing *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* for the soybean crop. // *AMB Expr*. 2021. Vol. 11. No. 71. DOI: 10.1186/s13568-021-01230-8.
14. Nguyen H. P., Miwa H., Obirih-Opareh J., Suzaki T., Yasuda M., Okazaki S. Novel rhizobia exhibit superior nodulation and biological nitrogen fixation even under high nitrate concentrations. // *FEMS Microbiology Ecology*. 2020. Vol. 96(2). Art. No. fiz184. DOI: 10.1093/femsec/fiz184.
15. Куликенов Р. А., Давлетов З. А. Эффективное применение биопрепаратов биогенного происхождения на овощных культурах в целях повышения высоких урожаев и повышения качества продукции // *Наука и современное общество: взаимодействие и развитие*. 2016. № 1(3). С. 113–114.
16. Базасева Л. М., Гаппоев Х. А. Эффективность применения биопрепаратов при возделывании гороха // *АгроФорум*. 2022. № 3. С. 58–61.
17. Faligowska A., Kalembasa S., Kalembasa D., Panasiewicz K., Szymańska G., Ratajczak K., Skrzypczak G. The nitrogen fixation and yielding of pea in different soil tillage systems // *Agronomy*. 2022. Vol. 12(2). Art. No. 352. DOI: 10.3390/agronomy12020352.
18. Mayer J., Burger F., Jensen E. S., Michael S., Heß Jür. Residual nitrogen contribution from grain legumes to succeeding wheat and rape and related microbial process // *Plant and Soil*. 2003. Vol. 255. P. 541–554. DOI: 10.1023/A:1026081015076.
19. Толкачёв Н. З. Модифицированный метод определения количества клубеньковых бактерий сои в почве // *Труды ВНИИСХМ*. 1990. Т. 60. С. 37–43.
20. Методы исследований клубеньковых бактерий: Методические рекомендации для курсов повышения квалификации научных сотрудников по сельскохозяйственной микробиологии // Под ред. Доросинского Л.М. Л.: ВИР, 1981. 48 с.
21. Експериментальна ґрунтова мікробіологія // За ред. Вовкогона В.В. К.: Аграрна наука, 2010. 464 с.
22. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Книга по требованию, 2013. 349 с.

References

1. Zavalin A. A., Blagoveshchenskaya G. G., Shmyreva N. Ya., Chernova L. S., Sokolov O. A., Alferov A. A., Samoilov L. N. Current state of the problems of nitrogen in world agriculture // *Agrohimia*. 2015. No. 5. P. 83–95.
2. Zotikov V. I., Sidorenko V. S., Gryadunova N. V. Development of production of leguminous crops in the Russian Federation // *Legumes and Groat Crops*. 2018. No. 2 (26). P. 4–9. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-10008.
3. Donskaya M. V., Donskoy M. M. Use of microbiological preparations in the cultivation of promising varieties of chickpeas and lathyrus in the Oryol region. // *Legumes and Groat Crops*. 2023. No. 1(45). P. 33–39. DOI: 10.24412/2309-348 X-2023-1-33-39.
4. Stepanov A. F., Chibis S. P., Khristich V. V., Aleksandrova S. N., Khramov S. Yu. Nitrogen-fixing ability and the role of legumes in the biologisation of agriculture // *Zemledelie*. 2023. No. 1. P. 18–22. DOI: 10.24412/0044-3913- 2023-1-18-22.
5. Novikov M. N. Biological methods of effective use of nitrogen of soil, fertilizers, symbiotic fixation in field agrocenoses // *Agrohimia*. 2020. No. 8. P. 60–69. DOI: 10.31857/S0002188120080086.
6. Kokorina A. L. Bean-rhizobial symbiosis and the use of microbiological preparations of complex action is an important reserve for increasing the productivity of arable land. St. Petersburg: St. Petersburg State Agrarian University, 2010. 50 p.
7. Zavalin A. A., Alferov A. A., Chernova L. S. Associative nitrogen fixation and the practice of application of biological products in agricultural crops // *Agrohimia*. 2019. No. 8. P. 83–96. DOI: 10.1134/S0002188119080143.
8. Belyavskaya L., Belyavskiy Yu., Kulyk M., Taranenko A., Didovich S. Soybean growing under inoculation by *Bradyrhizobium japonicum* strains in the forest-steppe and steppe zones of Ukraine // *Zemdirbyste-Agriculture*. 2022. Vol. 109. No. 3. P. 203–210. DOI: 10.13080/z-a.2022.109.026.
9. Dubinkina E. A., Shabalkin A. V., Makarov M. R. Study of the treatment of soybean seeds and plants with inoculants and microbiological fertilizers in the Central Chernozem region // *Legumes and Groat Crops*. 2023. No. 1(45). P. 50–58. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-1-50-58.

10. Smirnova I. E., Babaeva Sh. A., Fayzulina E. R., Tatarkina L.G., Spankulov G.A. Isolation of nodule bacteria promising for growing soybean culture // *Microbiology virology*. 2022. No. 2(37). P. 32–40. DOI: 10.53729/MV-AS.2022.
11. Mathenge C., Thuita M., Masso C., Gweyi-Onyango J., Vanlauwe B. Variability of soybean response to rhizobia inoculant, vermicompost, and a legume-specific fertilizer blend in Siaya County of Kenya // *Soil and Tillage Research*. 2019. Vol. 194(1). Art. No. 104290. DOI: 10.1016/j.still.2019.06.007.
12. Han Q., Ma Q., Chen Y., Tian B., Xu L., Bai Y., Chen W., Li X. Variation in rhizosphere microbial communities and its association with the symbiotic efficiency of rhizobia in soybean // *The ISME Journal*. 2020. Vol. 14(8). P. 1915–1928. DOI: 10.1038/s41396-020-0648-9.
13. Garcia M. V. C., Nogueira M. A., Hungria M. Combining microorganisms in inoculants is agronomically important but industrially challenging: case study of a composite inoculant containing *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* for the soybean crop // *AMB Expr*. 2021. Vol. 11. No. 71. DOI: 10.1186/s13568-021-01230-8.
14. Nguyen H. P., Miwa H., Obirih-Opareh J., Suzaki T., Yasuda M., Okazaki S. Novel rhizobia exhibit superior nodulation and biological nitrogen fixation even under high nitrate concentrations. // *FEMS Microbiology Ecology*. 2020. Vol. 96(2). Art. No. fiz184. DOI: 10.1093/femsec/fiz184.
15. Kulikenov R. A., Davletov Z. A. Effective application of biogenic biologics on vegetable crops in order to increase high yields and improve product quality // *Science and modern society: interaction and development*. 2016. No. 1(3). P. 113–114.
16. Bazaeva L. M., Gappoev Kh. A. The effectiveness of the use of biological products in the cultivation of peas // *AgroForum*. 2022. No. 3. P. 58–61.
17. Faligowska A., Kalembasa S., Kalembasa D., Panasiewicz K., Szymańska G., Ratajczak K., Skrzypczak G. The nitrogen fixation and yielding of pea in different soil tillage systems // *Agronomy*. 2022. Vol. 12(2). Art. No. 352. DOI: 10.3390/agronomy12020352.
18. Mayer J., Burger F., Jensen E. S., Michael S., Heß Jür. Residual nitrogen contribution from grain legumes to succeeding wheat and rape and related microbial process // *Plant and Soil*. 2003. Vol. 255. P. 541–554. DOI: 10.1023/A:1026081015076.
19. Tolkachev N. Z. Modified method for determining the number of soybean nodule bacteria in the soil // *Proceedings of All-Union Research Institute for Agricultural Microbiology (VNIISHM)*. 1990. Vol. 60. P. 37–43.
20. Methods of research of nodule bacteria: methodological recommendations for advanced training courses for researchers in agricultural microbiology // Edited by Dorosinsky L.M. Leningrad: N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 1981. 48 p.
21. Experimental soil microbiology // Ed. by Volkogon V.V. Kyiv: Agrarna Nauka, 2010. 464 p.
22. Dospekhov B. A. Methods of field research: with the basics of statistical processing of research results. Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2013. 349 p.

UDC 579.64:635.65

Didovich S. V., Gorgulko T. V., Pas' A. N., Alekseenko O. P., Baratashvili Z. A.

SCREENING OF NODULE BACTERIA STRAINS FOR SYMBIOTIC NITROGEN FIXATION EFFICIENCY ON LEGUMES

Summary. *Legumes are an ecologically safe source of plant protein. They maintain soil nitrogen balance and fertility. Nitraginization of seeds with microbial preparations based on nodule bacteria strains ensures the formation of legume-rhizobial interaction, as well as nitrogen-fixing root nodules, in which the process of symbiotic nitrogen fixation and plant nutrition with symbiotic nitrogen is started. To intensify symbiotic nitrogen fixation and increase legumes productivity, it is necessary to select rhizobial strains that are highly efficient in symbiosis with cultivated varieties. The purpose of the research was to screen strains of nodule bacteria with high symbiotic efficiency with modern varieties of soybean, chickpea, and pea. The experiment was carried out in 2022 under conditions of vegetation trial in 300 ml pots on chernozem southern on the background of the soil population of nodule bacteria specific to legumes on soybean varieties 'Marina', 'Osman', 'Pokrovskaya', chickpea – 'Donplaza', pea – 'Estafeta', 'Yaguar'. Before sowing, seeds were inoculated with suspensions of nodule bacteria strains from two collections: 1) Crimean Collection of Microorganisms of Research Institute of Agriculture of Crimea (<http://ckp-rf.ru/usu/507484/>): for soybean – *Bradyrhizobium japonicum* D-2, 36/46, X-9, *B. ottawaense**

M-8; for chickpea – *Mesorhizobium ciceri* H-12, A-46, 068, HC-6, A-44; for pea – *Rhizobium leguminosarum* K-29, U-1, U-2, 65; 2 Network Bioresource Collection in the field of genetic technologies for agriculture of All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology: *B. japonicum* 634b, *R. leguminosarum* 261b with an inoculation load of 10^6 bacteria/seed. Control – seeds treated with water. As a result of the research, strains of nodule bacteria were screened for symbiotic efficiency with varieties of soybean, chickpea, and pea. A significant increase in height (6.9–11.7 cm/plant or 23.1–36.7 %) was observed in all studied soybean varieties inoculated with *B. japonicum* and *B. ottawaense* strains. In chickpea and pea, a significant increase in phytomass was obtained: ‘Donplaza’ – 1.36 g/plant or 38.1 % when bacterized with strain *M. ciceri* A-46; ‘Yaguar’ – 0.3–0.7 g/plant (17.6–40.2 %) when treated with *R. leguminosarum* U-1, U-2, K-29, 65 strains ($p < 0.05$).

Keywords: nodule bacteria, legumes, efficiency, productivity.

Дидович Светлана Витальевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, лаборатории растительно-микробного взаимодействия, отдела сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: sv-alex.68@mail.ru.

Горгулько Татьяна Владимировна, научный сотрудник, лаборатории растительно-микробного взаимодействия, отдела сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: t.gorgulko@gmail.com.

Пась Анна Николаевна, младший научный сотрудник, лаборатория растительно-микробного взаимодействия, отдела сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: annapass@mail.ru.

Алексеенко Ольга Петровна, ведущий микробиолог, лаборатория растительно-микробного взаимодействия, отдела сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: olya.alekseenko1975@gmail.com.

Бараташвили Зинеп Асановна, микробиолог, лаборатория растительно-микробного взаимодействия, отдела сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: zinepb@bk.ru.

Didovich Svetlana Vitalievna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, Laboratory of plant-microbial interaction, Department of agricultural microbiology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: sv-alex.68@mail.ru.

Gorgulko Tatiana Vladimirovna, researcher, Laboratory of plant-microbial interaction, Department of agricultural microbiology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: t.gorgulko@gmail.com.

Pas' Anna Nikolaevna, junior researcher, Laboratory of plant-microbial interaction, Department of agricultural microbiology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: annapass@mail.ru.

Alekseenko Olga Petrovna, leading microbiologist, Laboratory of plant-microbial interaction, Department of agricultural microbiology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: olya.alekseenko1975@gmail.com.

Baratashvili Zinep Asanovna, microbiologist, Laboratory of plant-microbial interaction, Department of agricultural microbiology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: zinepb@bk.ru.

Дата поступления в редакцию – 02.08.2023.

Дата принятия к печати – 21.09.2023.

DOI 10.5281/zenodo.10135282

EDN NDSYZK

УДК 633.112.1

Ерёмин Д. И.¹, Ерёмина Д. В.², Любимова А. В.¹

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ВОДЫ И ИНДЕКС СТАБИЛЬНОСТИ КЛЕТОЧНЫХ МЕМБРАН ЛИСТЬЕВ КАК ИНСТРУМЕНТЫ СКРИНИНГА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ ОВСА

¹ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Тюменский научный центр сибирского отделения РАН»»;

²ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья»

Реферат. В условиях периодического проявления летних засух в зоне умеренных широт создание засухоустойчивых сортов овса является ключевой задачей для селекционеров. При оценке исходного материала рационально применять экспресс-методы, выявляющие стресс растения, вызванный абиотическими факторами. Цель исследований – поиск засухоустойчивых генотипов для селекции овса по показателям, характеризующим реакцию клеточных мембран на стресс, вызванный дефицитом почвенной влаги. Исследования проводили в 2020–2022 гг. в летней теплице, исключающей попадание осадков. Изучено 40 отечественных сортов овса из коллекции ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Тюменского научного центра сибирского отделения Российской академии наук». Определяли индекс стабильности мембран (MSI) и относительное содержание воды (RWC) в листьях. Варианты опыта: 1. Контроль – овес рос в оптимальных по увлажнению условиях; 2. Почвенная засуха в фазе кущения; 3. Засуха в фазе цветения. В среднем по коллекции снижение MSI при засухе в кущение и цветение составило 14 и 10 % соответственно. Снижение RWC – 12 и 10 %. У сортов Привет, Сиг, Фауст, КРОСС, Чиж, Льговский 82 и Улов снижение индекса клеточных мембран было менее 10 %, а снижение относительного содержания воды в листьях – менее 8 %. Их можно рекомендовать для селекции на засухоустойчивость. У сортов Егорыч, Таежник, Дедал, Десант, Покровский 9 и Песец снижение MSI было более 16 и 12 % соответственно. Выявлены сорта, у которых почвенная засуха в фазе кущения вызывала сильный стресс, отсутствующий при более поздней засухе. Установлена очень слабая корреляция между абсолютными значениями MSI, RWC и элементами структуры урожая. Отмечена тесная связь между относительным снижением данных показателей и массой 1000 зерен – коэффициент корреляции составил 0,81 и 0,75 соответственно. Рекомендуется использование индекса стабильности мембран и относительного содержания воды в листьях при подборе родительских форм и анализе гибридных комбинаций в селекции засухоустойчивых сортов овса.

Ключевые слова: овёс посевной (*Avena sativa* L.), стресс растений, засухоустойчивость овса, индекс стабильности мембран, почвенная засуха, нарушение биохимических реакций, родительские формы.

Для цитирования: Ерёмин Д. И., Ерёмина Д. В., Любимова А. В. Относительное содержание воды и индекс стабильности клеточных мембран листьев как инструменты скрининга засухоустойчивости овса // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3(35). С. 74–88. EDN: NDSYZK. DOI: 10.5281/zenodo.10135282.

For citation: Eremin D. I., Eremina D. V., Lyubimova A. V. Relative water content and leaf cell membrane stability index as screening tools for drought tolerance in oats // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3(35). P. 74–88. EDN: NDSYZK. DOI: 10.5281/zenodo.10135282.

Введение

Обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации подразумевает активное использование достижений науки в агропромышленном комплексе страны. Разработка научно обоснованных технологий обработки почвы, системы удобрений, ухода и защиты посевов от вредителей обеспечила стабильное повышение урожайности сельскохозяйственных культур, а созданные селекционерами сорта в максимальной степени реализуют биоклиматический потенциал основных сельскохозяйственных регионов страны [1–3].

Основная часть территории России находится в умеренных широтах, где возделывание основных зерновых культур малоэффективно по причине неблагоприятных почвенно-климатических особенностей. Особенно эта проблема выражена в Сибири, где на фоне короткого вегетационного периода с относительно невысокими эффективными температурами практически ежегодно проявляются почвенные и атмосферные засухи. В таких регионах для создания стабильной кормовой базы животноводства приоритетной зерновой культурой становится овёс. Его продуктивность на низкоплодородных почвах значительно выше, чем у ячменя и яровой пшеницы [4, 5].

Основные почвы, на которых ведется сельское хозяйство в Сибири – это подзолистые и серые лесные почвы. Часть из них находится в целинном и залежном состоянии, тем самым обуславливая потенциал для расширения земель сельскохозяйственного назначения. Вместе с тем, необходимо признать, что селекция овса не успевает за потребностями агропромышленного комплекса России [6]. Прежде всего это проявляется в дефиците засухоустойчивых сортов интенсивного типа, способных формировать урожай в условиях средних широт Сибири. Поэтому необходимо приложить усилия по подбору родительских генотипов для получения сортов овса, максимально реализующих биоклиматический потенциал Сибири [7].

Выявление засухоустойчивости зерновых культур, в том числе и овса – важная задача селекционеров [8, 9]. Это обусловлено тем, что дефицит почвенной влаги может оказать необратимое негативное воздействие на клеточном уровне, вызывая нарушения биохимических реакций, что приводит к снижению урожайности, а в худшем случае – гибели посевов. Поэтому, кроме комплексного фенотипирования необходимо применять экспресс-методы, выявляющие стресс растения, вызванный абиотическими факторами.

Физиологами доказано, что для устойчивости растений к стрессовым факторам важно сохранение целостности клеточной мембраны, которая выступает первой линией защиты растения от абиотических факторов [10]. Мембраны быстро реагируют на изменения внешней среды, но при этом включают защитные механизмы всей клетки. Поэтому по эффективности системы регуляции проницаемости мембран и поддержания гомеостаза можно выявить сорта, наиболее устойчивые к неблагоприятным внешним факторам, в том числе к дефициту влаги [11].

Наиболее доступными и эффективными показателями, характеризующими засухоустойчивость генотипов, можно считать индекс устойчивости мембран (Membrane Stability Index), а также относительное содержание воды в листьях (Relative Water Content) во время засухи. Поиск генотипов с высокими значениями MSI и RWC играет важную роль при создании засухоустойчивых сортов [12]. Учеными доказано наличие связи генов засухоустойчивости пшеницы с данными показателями [13]. Однако исследования реакции овса на почвенную засуху с использованием физиологических показателей состояния растений (MSI и RWC) начались относительно недавно [14]. Селекционеры овса пользовались более простыми методами: индексом снижения урожайности, геометрической продуктивностью или морфологическими признаками, наиболее подходящими для получения информации

об экологической устойчивости и пластичности сорта. Причиной этого является то, что овёс преимущественно выращивают в зоне достаточного увлажнения и до настоящего времени для него селекция на засухоустойчивость и жаростойкость была неактуальной. Однако, в условиях глобального потепления в умеренных широтах почвенные засухи стали обычным явлением. Это привело к необходимости поиска засухоустойчивых генотипов овса для введения их в селекционный процесс.

Цель исследований – выявление засухоустойчивых генотипов для селекции овса по показателям, характеризующим реакцию клеточных мембран на стресс, вызванный дефицитом почвенной влаги.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в теплице без искусственного подогрева и освещения в весенне-летний период 2020–2022 гг. на территории ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья» (п. Московский Тюменского района). Институт расположен в лесостепной зоне Западной Сибири (57°09' N, 65°32' E). В качестве материала для исследования использовали 40 сортов овса посевного (*Avena sativa* L.) российской селекции (таблица 1). В перечень изучаемых сортов вошли: 25 среднеспелых сортов (63 %), 10 среднеранних (25 %), три раннеспелых и два среднепоздних.

Оценку степени засухоустойчивости сортов проводили путем сравнения средних значений по коллекции, а также процентного снижения показателей относительно контроля – среднего снижения по коллекции. Использование в качестве стандарта засухоустойчивости определенного сорта было нерационально по причине присутствия в коллекции сортов разных групп спелости, разновидностей и потенциальной продуктивности. Кроме того, в научных кругах отсутствует единое мнение о стандарте засухоустойчивости для овса [15].

Семена для проведения опытов отбирали из коллекции лаборатории геномных исследований в растениеводстве и высевали в однородных почвенных и гидротермических условиях.

Перед закладкой опыта весь семенной материал обрабатывали протравителем «Ламадор» (производитель Байер) с действующими веществами протиоконазол 250 г/л и тебуконазол 150 г/л. Норма расхода составила в пересчете на 1 т зерна 0,2 л. После обработки фунгицидом зерно просушивали и пересыпали в бумажные пакетики.

В опыте использовали пластиковые контейнеры с размерами 40×30, высотой 20 см, объемом 24 л. В контейнеры засыпали почвогрунт, взятый из пахотного слоя опытного поля института. По гранулометрическому составу грунт характеризовался как среднесуглинистый иловато-пылеватый. По физико-химическим и агрохимическим показателям соответствовал гумусовому горизонту серой лесной почвы [16, 17]. Содержание гумуса (ГОСТ 26213-2021) составляло 3,0–3,2 %, нитратного азота (ГОСТ 26951-86) – 4,5–4,7 мг/кг, подвижных форм фосфора и калия (ГОСТ Р 54650-2011) – 57–60 и 86–90 мг/кг почвы соответственно.

В эксперименте применяли рекомендуемую для лесостепи Зауралья дозу минеральных удобрений – N₆₀P₂₀ кг/га, рассчитанную на формирование урожайности зерна 3,0 т/га [18]. За пять суток до посева каждый контейнер с почвогрунтом орошали водопроводной водой с рН 7,6, электропроводностью 20,00 мкСм/м, насыщая его до 80 % полевой влагоемкости. За это время вода распределялась по пустотам почвогрунта и происходило уплотнение до равновесного состояния – 1,20 г/см³ [19]. В каждый контейнер высевали по 30 семян, распределяя их равномерно по площади. Глубина посева 7 см. Через пять суток подсчитали количество всходов и провели первое прореживание. Густота стояния на момент всходов составила 245–250 шт./м². Убирали недоразвитые и отстающие в росте растения. Через 15 дней проводили второе прореживание, оставляя в контейнере 25 хорошо развитых и фенотипически

однородных растений [20], что соответствовало густоте стояния овса 200 шт./м² к началу уборочных работ. Создание изреженных посевов обусловлено ограниченным объемом почвогрунта, что при создании стандартной густоты посева привело бы к угнетению растений.

Таблица 1 – Перечень сортов овса, используемых в опыте

№ п/п	Сорт	Разновидность	Группа спелости	Год включения в Государственный реестр селекционных достижений
1	Ассоль	<i>mutica</i>	раннеспелый	2018
2	Покровский 9	<i>aristata</i>	раннеспелый	1993
3	Таёжник	<i>aurea</i>	раннеспелый	1977
4	Аватар	<i>aurea</i>	среднеранний	2017
5	Виленский	<i>mutica</i>	среднеранний	2016
6	Десант	<i>aristata</i>	среднеранний	2018
7	Мегион	<i>mutica</i>	среднеранний	1993
8	Новосибирский 5	<i>mutica</i>	среднеранний	2013
9	Ровесник	<i>obtusata</i>	среднеранний	1995
10	Улов	<i>mutica</i>	среднеранний	1992
11	Уран	<i>aristata</i>	среднеранний	2014
12	Черниговский 83	<i>aurea</i>	среднеранний	1972
13	Чиж	<i>aurea</i>	среднеранний	2003
14	Баргузин	<i>mutica</i>	среднеспелый	1994
15	Борец	<i>mutica</i>	среднеспелый	2002
16	Буланный	<i>mutica</i>	среднеспелый	2021
17	Горизонт	<i>mutica</i>	среднеспелый	1979
18	Дедал	<i>mutica, aristata</i>	среднеспелый	2018
19	Егорыч	<i>obtusata</i>	среднеспелый	2011
20	ЗАЛП	<i>mutica, aurea</i>	среднеспелый	2015
21	Иртыш 13	<i>mutica</i>	среднеспелый	1991
22	Конкур	<i>mutica</i>	среднеспелый	2008
23	КРОСС	<i>mutica</i>	среднеспелый	2022
24	Льговский	<i>mutica</i>	среднеспелый	2021
25	Нарымский 943	<i>mutica</i>	среднеспелый	1963
26	Овен	<i>mutica</i>	среднеспелый	1997
27	Орион	<i>mutica</i>	среднеспелый	1996
28	Передовик	<i>brunnea</i>	среднеспелый	2022
29	Песец	<i>mutica, aristata</i>	среднеспелый	1968
30	Привет	<i>aurea</i>	среднеспелый	1999
31	СИГ	<i>aristata</i>	среднеспелый	2008
32	Галисман	<i>mutica</i>	среднеспелый	2002
33	Тигровый	<i>cinerea</i>	среднеспелый	2002
34	Тубинский	<i>mutica</i>	среднеспелый	2004
35	Факел	<i>aristata</i>	среднеспелый	2018
36	Фауст	<i>mutica</i>	среднеспелый	2002
37	Экспресс	<i>cinerea</i>	среднеспелый	1998
38	Юбиляр	<i>mutica</i>	среднеспелый	2006
39	Аргумент	<i>aristata</i>	среднепоздний	2005
40	Льговский 82	<i>mutica</i>	среднепоздний	1992

Исследования предусматривали следующие варианты опыта:

1) отсутствие засухи (контроль). Полив осуществляли регулярно, не допуская снижения влажности почвы ниже 60 % от наименьшей влагоемкости;

2) засуха в фазе кущения;

3) засуха в фазе цветения.

До наступления выбранных фенологических фаз растения регулярно поливали раз в неделю. При появлении первых признаков наступления кущения и цветения (единичные растения с начавшейся фенологической фазой) полив прекращали на 14 суток, добиваясь понижения влажности почвы до 30–35 % от наименьшей влагоемкости путем естественного испарения. Через две недели снимали предусмотренные в опыте показатели и возобновляли полив до полного созревания зерна. Опыт предусматривал трехкратное повторение, в каждом из которых отбирали листья с 10 растений.

Относительное содержание воды (Relative Water Content) в листьях овса определяли в соответствии с методикой, представленной в работах Schonfeld et.al. и Pardossi et.al. [21, 22]. Данный метод позволяет оценить реальное содержание воды в отобранных образцах листьев относительно максимального содержания воды при полном тургоре. Нормальные значения RWC растений варьируют от 98 до 40 %. У большинства злаковых культур, имеющих визуальные признаки увядания, RWC находится в пределах 60–70 %. При достижении 50–60 % зерновые культуры испытывают сильнейший стресс, в это время на клеточном уровне происходят необратимые биохимические изменения [23]. При относительном содержании воды в растениях менее 40 % основная часть зерновых культур погибает [24].

Для расчета RWC в период с 11 до 12 часов по местному времени срезали хорошо развитые листья ножницами таким образом, чтобы их общая площадь составила 10–12 см². Образцы с каждого варианта помещали в герметичные пластиковые пробирки с объемом 50 мл и укладывали в сумку-контейнер с постоянной температурой 10–12 °С. В минимально короткие сроки все собранные образцы доставляли в лабораторию, где проводили взвешивание массы свежих листьев (W). Далее образцы переносили в чашки Петри с деионизированной водой и оставляли на шесть часов. Все чашки Петри размещали на лабораторном столе в один ярус, чтобы соблюсти равномерность температуры (20–22 °С) и освещенность. После полного набухания образцы извлекали из воды, осторожно протирали фильтровальной бумагой и взвешивали (TW). Далее растительные образцы размещали в термостате и высушивали в течении суток при температуре 80 °С. После этого высушенный до воздушно-сухого состояния материал помещали в эксикатор для охлаждения до комнатной температуры с последующим определением сухой массы (DW). Все взвешивания проводили с точностью 0,001 г. Расчет относительного содержания воды вели по формуле 1.

$$RWC(\%) = [(W - DW)/(TW - DW)] \times 100 \quad (1)$$

где W – масса свежих листьев, г (Sample fresh weight);

TW – масса набухших листьев, г (Sample turgid weight);

DW – масса высушенных листьев, г (Sample dry weight).

Устойчивость к стрессу, вызванному почвенной засухой, оценивали по индексу стабильности клеточных мембран (Membrane Stability Index, далее MSI). Для этого, одновременно с отбором проб на RWC брали навеску листьев массой 4 г, осторожно протирали влажной салфеткой от пыли и помещали в стеклянную колбу объемом 100 мл. Далее заливали образцы бидистиллированной водой (100 мл) и ставили на водяную баню на 1 час при температуре 45 °С. По истечении времени колбы охлаждали до комнатной температуры. Далее часть раствора без фильтрации осторожно переносили в стеклянный стаканчик, где проводили измерение электропроводности раствора после инкубации (C₁) кондуктометром «Марк-602» от производителя «ВЗОР» (Россия). Затем раствор из стаканчика переносили обратно в колбу. После всех измерений образцы вновь нагревали на водяной бане в течении 15 минут при температуре 100 °С для полного разрушения клеток и выхода электролитов, содержащихся в растительном

образце. Затем повторно определяли электропроводности (C_2). Расчет индекса стабильности мембраны (MSI) проводили по формуле 2:

$$MSI = \left[1 - \left(\frac{C_1}{C_2} \right) \right] \times 100 \quad (2)$$

где C_1 – электропроводность раствора после первой инкубации (температура – 45 °С, экспозиция – 1 час);

C_2 – электропроводность раствора после второй инкубации (температура – 100 °С, экспозиция – 15 минут).

Полученные результаты лабораторных исследований анализировали с помощью дисперсионного анализа с применением программного продукта Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

В ходе проведения исследований установлено, что индекс стабильности мембран преимущественно зависит от генотипа, разница значений между кущением и цветением в целом по коллекции незначительна. В среднем по коллекции в контроле MSI был равен 60,3 % при варьировании от 45,5 (Буланый, Дедал) до 75,6 % (Льговский 82, Аватар). При проявлении засухи в фазе кущения и цветения стабильность клеточной мембраны достоверно снижалась – MSI в среднем по коллекции составил 14 и 10 % соответственно ($F_{\text{крит.}} > F_{\text{теор.}}$ при $p = 0,05$). Это подтверждает, что овес достаточно негативно реагирует на дефицит почвенной влаги в критические фазы развития. К аналогичным выводам ранее пришли Р. Peltonen-Sainio и Р. Mäkelä в 1994 г. Они отметили, что во время стресса, вызванного засухой в первой половине вегетации, физиологические показатели овса (содержание хлорофилла, протеина, индекс стабильности мембран и относительное содержание воды в листьях) снижались на 15–20 % относительно контроля [25]. Исследования, проведенные на территории Эфиопии группой ученых под руководством Gezahagn Kebede, опубликованные в 2023 г., показали высокую корреляционную связь между агроморфологическими показателями и индексами, характеризующими физиологическое состояние овса во время почвенных засух [26]. Разная реакция на дефицит почвенной влаги в период кущения и цветения обусловлена тем, что у отдельных сортов в начале вегетации клеточная мембрана остается нестабильной благодаря дефициту жирных кислот. Во время засухи это усиливает стресс, который выражается в нарушении цикла синтеза метаболитов, отвечающих за работу устьичного аппарата. В конечном итоге молодые растения начинают терять влагу, что приводит к их гибели [27]. Это подтверждается и нашими исследованиями – степень потери относительного содержания влаги в листьях овса во время кущения варьирует по коллекции в диапазоне 2–27 %, а в цветение – 4–21 %.

В ходе ранжирования генотипов по снижению индекса стабильности клеточных мембран установлено, что в коллекции присутствуют сорта, на которые засуха в период кущения оказывает минимальное влияние. В эту группу входят: Улов, КРОСС, Привет, Сиг, Чиж, Льговский 82, Мегион и Фауст – снижение MSI было менее 10 % относительно контроля (рисунок 1). Часть из этих сортов обладали минимальным снижением MSI и при поздней почвенной засухе – Привет, Сиг, Фауст, КРОСС, Чиж, Льговский 82 и Улов ($Q_1 < 6$ %) (рисунок 2). Сорт Мегион перешел в другой ранг (Q_2), где достоверность воздействия засухи на индекс стабильности мембран не доказана ($F_{\text{крит.}} < F_{\text{теор.}}$). Устойчивость к засухе во время цветения также была отмечена у сортов Ассоль и Передовик, MSI которых при засухе в период их кущения составил 18% (Q_4) и 11% (Q_2) соответственно. Избирательную толерантность к поздней засухе этих сортов отметили в своих работах В.А. Федорова и ее коллеги [28].

Выделены наименее устойчивые генотипы, MSI которых во время засухи в фазе кущения уменьшился более чем на 15 % (Q_4) от средней величины. К этой группе отнесены 17 образцов, среди которых выделяются сорта: Егорыч, Конкур, Черниговский 83, Иртыш 13, Дедал. Они показали наименьшую степень устойчивости к засухе по индексу

стабильности мембраны. По данным оригинаторов, эти сорта обладают средней засухоустойчивостью, а сорт Иртыш 13 – сильно засухоустойчив [29].

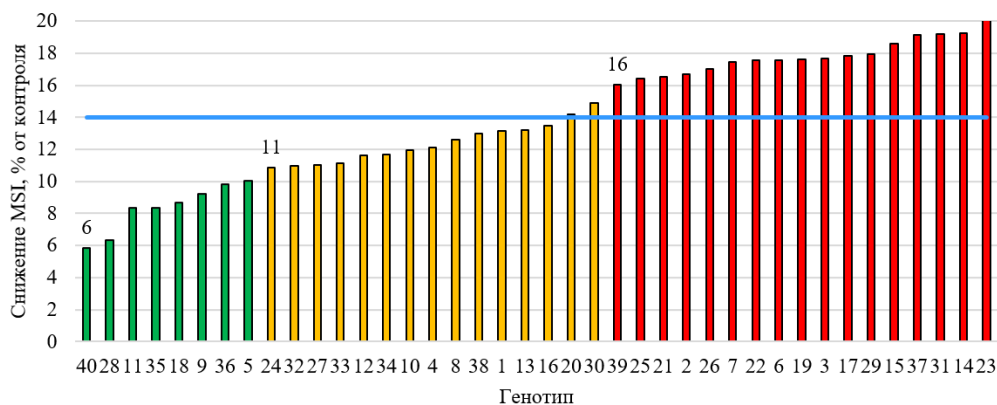


Рисунок 1 – Снижение индекса стабильности клеточных мембран (Membrane Stability Index) в результате стресса, вызванного почвенной засухой в период кущения, Q1<10%; 10<Q2<13; 13<Q3<16; Q4>16 % от контроля

Примечание. Здесь и далее: ранжирование проведено квартильным способом: Q1 – зеленый; Q2+Q3 – желтый; Q4 – красный. Синяя линия – среднее снижение по изучаемой коллекции. (Q2+Q3) – снижение статистически недостоверно при $p=0,05$. Номера генотипов здесь и далее указаны в таблице 1.

Причиной противоречивости заявленной оригинаторами степени засухоустойчивости мы видим в том, что она определялась по данным полевых наблюдений в разные по увлажнению годы. В ходе проведения сравнительного испытания А. Е. Зинатуллина пришла к выводу, что для определения засухоустойчивости сортов необходимы комплексные испытания как на ранних этапах онтогенеза, так и в более поздние периоды развития. [30].

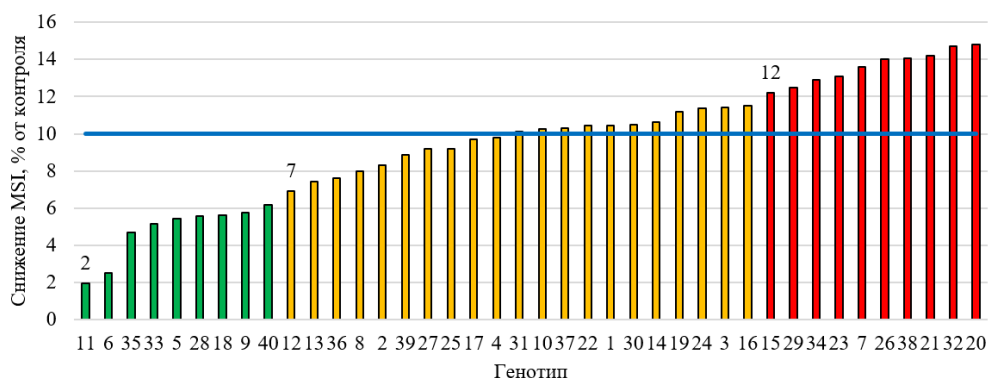


Рисунок 2 – Снижение индекса стабильности клеточных мембран (Membrane Stability Index) в результате стресса, вызванного почвенной засухой в период цветения, Q1<6%; 6<Q2<9; 9<Q3<12; Q4>12 % от контроля

Относительное содержание воды в листьях зерновых культур преимущественно зависит от генотипа [31, 32]. Современные исследования показали, что степень проницаемости воды сквозь клеточную мембрану зависит от наличия и активности особой группы белков. Содержание данных белков кодируется определенными генами, тем самым определяется генетическая засухоустойчивость вида (сорта) растения. Активность белков, отвечающих за трансмембранный поток воды в условиях стресса, вызванного засухой и высокой температурой, определяется степенью синтеза

определенных гормонов. Скорость и количество выделяемых гормонов, стимулирующих движение воды сквозь мембрану клетки, зависит от внешних факторов, а также стадии развития растения [33, 34]. Этим обусловлена различная реакция на засуху овса в период кущения и цветения.

Средний по коллекции RWC составил 68,5 % при варьировании от 53,8 (Иртыш 13) до 89,1 (Борец). При создании засушливых условий в фазе кущения относительное содержание воды в листьях овса уменьшилось в среднем по коллекции до 60,0 %, варьируя от $50,3 \pm 3,4$ % (Льговский) до $70,7 \pm 2,6$ % (Чиж). Данный факт указывает на то, что среди 40 изучаемых сортов не оказалось ни одного, который имеет толерантность к почвенной засухе в период кущения. К аналогичным выводам пришла группа ученых во главе с Кабашовым [35]. Ранжирование сортов по степени снижения RWC относительно контроля (сорта на регулярном поливе) выявило генотипы, относительное содержание воды в листьях которых снижалось в минимальной степени ($Q_1 < 8$ %): Чиж, Баргузин, Ассоль, Сиг, КРОСС, Фауст, Овен, Передовик, Улов, Привет, Юбиляр. Также были выделены сорта, у которых снижение RWC было достоверно выше 18 % относительно контроля ($F_{\text{крит.}} < F_{\text{теор.}}$) (рисунок 2). К ним относятся: Буланный, Льговский 82, Орион, Факел, Десант, Нарымский 943, Борец и Льговский. Вместе с тем, Льговский 82 по значению MSI был отнесен к потенциально засухоустойчивым сортам. Данный факт указывает на то, что прямой корреляции между MSI и RWC нет. Произведенный расчет коэффициента корреляции показал отсутствие связи ($r = 0,22$) между снижением значений данных показателей в период кущения овса. Половина генотипов из изучаемой коллекции (21 сорт из 40) характеризовались недостоверным снижением относительного содержания воды в листьях под действием почвенной засухи в период кущения (рисунок 3). Это доказывает, что листовой аппарат овса на ранних стадиях онтогенеза не испытывает критического воздействия почвенной засухи. Синтез ферментов, стимулирующих трансмембранное движение воды из клеток, происходит своевременно, тем самым препятствуя снижению тургора до критических значений. После устранения почвенной засухи ассимиляционный аппарат многих сортов овса восстанавливается и обеспечивает полноценный налив зерна. К аналогичным выводам пришли ученые из России и Китая [36, 37].

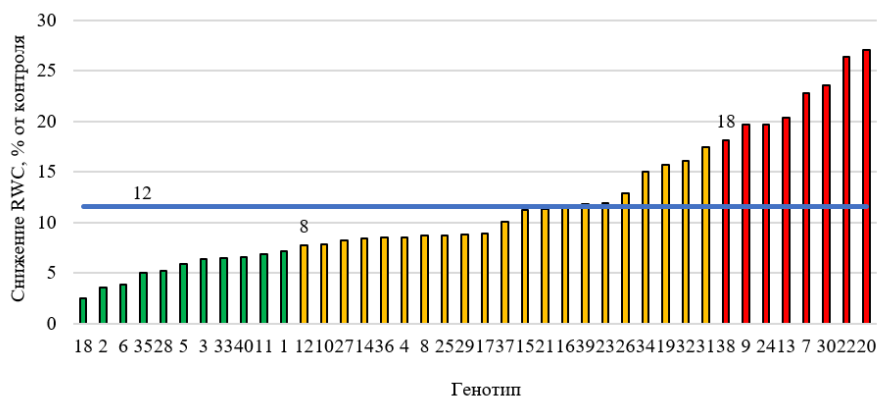


Рисунок 3 – Снижение относительного содержания воды (Relative Water Content) в листьях овса в результате стресса, вызванного почвенной засухой в период кущения, $Q_1 < 8\%$; $8 < Q_2 < 12$; $12 < Q_3 < 18$; $Q_4 > 18$ % от контроля

Дефицит почвенной влаги в период цветения овса оказывает достаточно сильное влияние на такой элемент урожайности как масса 1000 зерен. Это указывает на нарушение синтеза углеводов и протеина, а также движения метаболитов из листового аппарата в зерно [38–40].

Установлено, что из всей коллекции лишь девять сортов характеризовались минимальным снижением RWC ($Q_1 < 6\%$ относительно контроля). В первый квартиль вошли Сиг, Ассоль, Чиж, Баргузин, Привет, Передовик, Новосибирский 5, Фауст и КРОСС (рисунок 4). Группу наиболее сильно выделившихся генотипов по степени снижения относительного содержания воды в листьях ($Q_4 > 12\%$) составили следующие сорта: Экспресс, Факел, Орион, Льговский 82, Покровский 9, Тигровый, Десант, Льговский, Буланный, Нарымский 943, Борец. Рассчитанный коэффициент корреляции между значениями снижения MSI и RWC под действием засухи в период цветения составил 0,66 ед., что соответствует средней степени влияния ($0,30 < r < 0,75$).

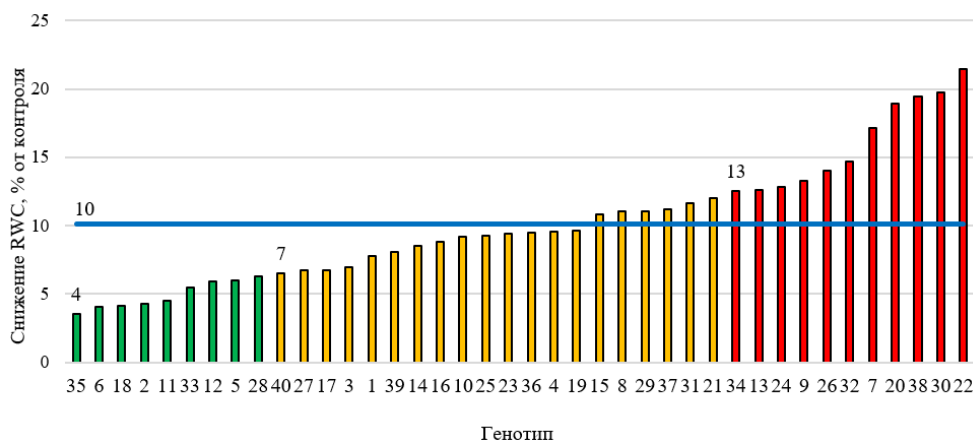


Рисунок 4 – Снижение относительного содержания воды (Relative Water Content) в листьях овса в результате стресса, вызванного почвенной засухой в период цветения, $Q_1 < 6\%$; $6 < Q_2 < 9$; $9 < Q_3 < 12$; $Q_4 > 12\%$ от контроля

Проведенный корреляционный анализ показал очень слабую связь между значениями индекса стабильности мембраны, относительного содержания воды в листьях овса и элементами структуры урожая (масса 1000 зерен, масса зерна с главной метелки). Коэффициент корреляции варьировал от -0,3 до +0,2 ед. Однако при использовании относительного снижения данных показателей была установлена прямая тесная связь в парах: MSI/масса 1000 зерен ($r=0,81$) и RWC/масса 1000 зерен ($r=0,75$) в варианте с засухой в период цветения овса. В варианте, где стресс был вызван в период кущения, корреляция между показателями также отсутствовала. Причиной отсутствия корреляции между индексом стабильности мембраны, относительным содержанием воды в листьях и элементами структуры урожая, по нашему мнению, является недостаточно сильный стресс, вызванный засухой в период кущения. Аналогичное мнение высказано в работах Петкуниной (2012) и Свирковой (2016) [41, 42], которые также получили низкую корреляцию между аналогичными показателями.

Выводы

В условиях искусственной почвенной засухи на протяжении 2020–2022 гг. была установлена прямая тесная корреляция между показателями MSI, RWC в фазе цветения и массой 1000 зерен овса ($r = 0,81$ и $0,75$ соответственно). Отмечены сорта с высокой устойчивостью к стрессу, вызванному засухой в фазе кущения и цветения: Привет, Сиг, Фауст, КРОСС, Чиж, Льговский 82 и Улов, у которых снижение индекса клеточных мембран было минимальным (менее 10 %) относительно контроля, и которые имеют селекционную ценность при создании засухоустойчивых сортов. Остальные генотипы имели сильную негативную реакцию на дефицит почвенной влаги.

Работа выполнена по госзаданию №122011300103-0 и при поддержке Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня.

Литература

1. Ciampitti I. A., Briat J. F., Gastal F., Lemaire G. Redefining crop breeding strategy for effective use of nitrogen in cropping systems // *Commun Biol.* 2022. Iss. 5. Art. No. 823. DOI: 10.1038/s42003-022-03782-2.
2. Voss-Fels K. P., Stahl A., Hickey L. T. Q&A: modern crop breeding for future food security // *BMC Biol.* 2019. Vol. 17. Art. No. 18. DOI: 10.1186/s12915-019-0638-4.
3. Сапега В. А., Турсумбекова Г. Ш. Урожайность, экологическая пластичность и стабильность сортов яровой мягкой и твердой пшеницы в южной лесостепи Тюменской области // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока.* 2020. Т. 21. № 2. С. 114–123. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123.
4. Перфильев Н. В., Вьюшина О. А., Власенко А. Н. Эффективность систем основной обработки темносерой лесной почвы при возделывании ячменя // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки.* 2021. Т. 51. № 1. С. 11–17. DOI: 10.26898/0370-8799-2021-1-1.
5. Моисеева М. Н., Еремин Д. И. Влияние минеральных удобрений на накопление азота в зерне и соломе овса в лесостепи Зауралья // *Достижения науки и техники АПК.* 2023. Т. 37. № 2. С. 9–16. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_2_9.
6. Evseev V. V., Mikolaychik I. N., Morozova L. A. Model of integrated resistant variety spring wheat for soil-climatic conditions of the Kurgan region // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science “International Conference on Agricultural Science and Engineering”.* 2021. Vol. 845. Art. No. 012059. DOI: 10.1088/1755-1315/845/1/012059.
7. Гулянов Ю. А. Оценка современных биоклиматических ресурсов и перспектив роста урожайности в постцелинных регионах Урала и Западной Сибири // *Таврический вестник аграрной науки.* 2020. № 4(24). С. 29–41. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-4-24-29-41.
8. Тоболова Г. В., Остапенко А. В. Биохимическое исследование коллекции овса посевного и византийского // *Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья.* 2013. Т. 23. № 4. С. 13–16.
9. Аbugалиева А. И., Лоскутов И. Г., Савин Т. В., Чудинов В. А. Изучение голозерного овса из коллекции ВИР на качественные показатели в условиях Казахстана // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции.* 2021. Т. 182. № 1. С. 9–21. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-9-21.
10. *Plant Abiotic Stress Physiology: Volume 2: Molecular Advancements* // Ed. by Aftab T., Hakeem K. R. New York: Apple Academic Press, 2022. 322 p. DOI: 10.1201/9781003180579.
11. Wu J., Wang J., Hui W., Zhao F., Wang P., Su C., Gong W. Physiology of plant responses to water stress and related genes: a review // *Forests.* 2022. Vol. 13. No. 2. Art. No. 324. DOI: 10.3390/f13020324.
12. Guoqi W., Ma B.-L., Shi Y., Kui L., Chen W. Selection of oat (*Avena sativa* L.) drought-tolerant genotypes based on multiple yield-associated traits // *J Sci Food Agric.* 2023. Vol. 103. No. 9. P. 4380–4391. DOI: 10.1002/jsfa.12504.
13. ElBasyoni I., Saadalla M., Baenziger S., Bockelman H., Morsy S. Cell membrane stability and association mapping for drought and heat tolerance in a worldwide wheat collection // *Sustainability.* 2017. No. 9. Art. No. 1606. DOI: 10.3390/su9091606.
14. Sánchez-Martín J., Mur L. A. J., Rubiales D., Prats E. Targeting sources of drought tolerance within an *Avena* spp. collection through multivariate approaches // *Planta.* 2012. Vol. 236. No. 5. P. 1529–1545. DOI: 10.1007/s00425-012-1709-8.
15. Сайфуллин Р. Г., Лобачев Ю. В., Бекетова Г. А., Курасова Л. Г. Подбор сортов-стандартов для полевых опытов Госсортсети // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.* 2014. № 6. С. 33–34.
16. Каюгина С. М., Еремин Д. И. Гумусовое состояние темно-серых лесных почв Северного Зауралья // *Вестник КрасГАУ.* 2022. Т. 187. № 10. С. 35–42. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-10-35-42.
17. Каюгина С. М., Еремин Д. И. Физико-химические свойства серых лесных почв восточной окраины Зауральского Плато // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология.* 2022. Т. 15. № 4. С. 471–490. DOI: 10.17516/1997-1389-0399.
18. Eremin D. I., Moiseeva M. N., Lyubimova A. V. The impact of mineral fertilizers on the consumption of mineral elements and the Siberian-bred oat grain // *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science “Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad” (DAICRA 2021).* 2022. Vol. 949. Art. No. 012066. DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012066.
19. Перфильев Н. В., Вьюшина О. А. Влияние систем обработки на агрофизические параметры темносерой лесной почвы в Северном Зауралье // *Земледелие.* 2023. № 1. С. 27–31. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-1-27-31.
20. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть. М.: ФГБУ «Госсорткомиссия». 1989. 329 с.

21. Ortega-Ortega A., Jiménez-Galindo J. C., Parra-Quezada R. Á., Jacobo-Cuellar J. L., Ruiz-Anchondo Teresita D. J., Salmerón-Zamora J. J., Zamudio-Flores P. B., Malvar R. A. Osmotic stress tolerance in forage oat varieties (*Avena sativa* L.) based on osmotic potential trials // *Agronomy Research*. 2023. Vol. 21. No. 1. P. 1200–1210. DOI: 10.15159/AR.23.005.
22. Каршибоев Х. Х., Сиддиков Р. Э., Покровская М. Н. Устойчивость содержания общей воды в листьях и температуры коагуляции белков листьев сортов твердой пшеницы в богарных условиях // *Аграрная наука*. 2018. № 11–12. С. 54–55. DOI: 10.32634/0869-8155-2018-320-11-54-55.
23. Peltonen-Sainio P., Mäkelä P. Drought tolerance in oats – physiological methods to assess varietal differences // *Proceedings of the International Conference at the Occasion of the 75th Anniversary of the Wageningen Agricultural University “Plant Production on the Threshold of a New Century”*. 1994. Vol. 61. P. 465–467. DOI: 10.1007/978-94-011-1158-4_65.
24. Kebede G., Worku W., Feyissa F., Jifar H. Agro-morphological traits-based genetic diversity assessment on oat (*Avena sativa* L.) genotypes in the central highlands of Ethiopia // *All Life*. 2023. Vol. 16. Iss. 1. Art. No. 2236313. DOI: 10.1080/26895293.2023.2236313.
25. Zhang X., Liu W., Lv Y., Li T., Tang J., Yang X., Bai J., Jin X., Zhou H. Effects of drought stress during critical periods on photosynthesis characteristics and production performance of naked oat (*Avena nuda* L.). 2022. Vol. 12. No. 1. Art. No. 11199. DOI: 10.21203/rs.3.rs-1135270/v1.
26. Федорова В. А., Наумова Н. А., Тарасенкова Ю. П., Поляков Д. П. Перспективные сорта ярового овса для возделывания в условиях полупустынной зоны Северного Прикаспия // *Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки»*. 2019. № 5. С. 335–341. DOI: 10.30914/2411-9687-2019-5-3-335-340.
27. Юсова О. А., Николаев П. Н., Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Скрининг сортов овса омской селекции для условий южной лесостепи Западной Сибири // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство*. 2021. Т. 16. № 1. С. 42–53. DOI: 10.22363/2312-797X-2021-16-1-42-53.
28. Зинатуллина А. Е. К вопросу о комплексной оценке засухоустойчивости пшеницы в полевых и лабораторных условиях // *Экобиотех*. 2022. Т. 5. № 3. С. 108–117. DOI: 10.31163/2618-964X-2022-5-3-108-117.
29. Varavkin V. A. Identification of drought resistance in winter wheat varieties in terms of xeromorphy and water-holding capacity // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science “Biological Technologies in Agriculture: from Molecules to Ecosystems”*. 2021. Vol. 839. Art. No. 042028. DOI: 10.1088/1755-1315/839/4/042028.
30. Бесалиев И. Н., Панфилов А. Л., Регер Н. С. Водоудерживающая способность растений сортов яровой мягкой пшеницы в засушливых условиях Оренбургского Приуралья // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022. Т. 59. № 3. С. 20–25. DOI: 10.18286/1816-4501-2022-3-20-25.
31. Kapilan R., Vaziri M., Zwiazek J. J. Regulation of aquaporins in plants under stress // *Biol Res*. 2018. Vol. 51. Art. No. 4. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40659-018-0152-0>.
32. Пузина Т. И., Макеева И. Ю. Регуляция трансмембранного потока воды у проростков *Avena sativa* в условиях засухи // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Серия «Естественные науки»*. 2023. Т. 41. № 1. С. 93–102. DOI: 10.21685/2307-9150-2023-1-7.
33. Кабашов А. Д., Лоскутов И. Г., Власенко Н. М., Лейбович Я. Г., Маркова А. С., Филоненко З. В., Разумовская Л. Г. Сорта овса немчиновской селекции, включенные в Госреестр в последние годы (обзор) // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020. Т. 181. № 1. С. 110–118. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-110-118.
34. Тулякова М. В., Баталова Г. А., Пермякова С. В., Кротова Н. В. Исходный материал овса пленчатого для селекции на урожайность // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. Т. 33. № 7. С. 9–12. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10702.
35. Xie H., Li M., Chen Y., Zhou Q., Liu W., Liang G., Jia Z. Important physiological changes due to drought stress on oat // *Front. Ecol. Evol.* 2021. Vol. 9. Art. No. 644726. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.644726>.
36. Николаев П. Н., Юсова О. А., Васюкевич С. В., Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Адаптивный потенциал сортов ярового овса по признаку «масса 1000 зерен» в условиях Омского Прииртышья // *Агрофизика*. 2019. № 2. С. 38–44. DOI: 10.25695/AGRPH.2019.02.06
37. Асеева Т. А., Трифунтова И. Б. Агротомическая стабильность сортов и линий овса Дальневосточной селекции в условиях Среднего Приамурья // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2021. № 91. С. 12–17. DOI: 10.21515/1999-1703-91-12-17.
38. Gong W., Ju Z., Chai J., Zhou X., Lin D., Su W., Zhao G. Physiological and Transcription Analyses Reveal the Regulatory Mechanism in Oat (*Avena sativa*) Seedlings with Different Drought Resistance under PEG-Induced Drought Stress // *Agronomy*. 2022. No. 12. P. 1005. DOI: 10.3390/agronomy12051005.

39. Петункина Л. О., Свиркова С. В., Маевская Н. А., Старцев А. А. Физиологическая оценка устойчивости овса // Вестник Кемеровского государственного университета. 2012. Т. 52. № 4–1. С. 20–24.
40. Свиркова С. В., Старцев А. А., Заушинцева А. В. Реакция сортов овса на изменчивость метеофакторов на юге Западной Сибири // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 5.
41. Schonfeld M. A., Johnson B. F., Carver B. F., Mornhiweg D. W. Water relations in winter wheat as drought resistance indicator // Crop Sci. 1988. No. 28. P. 526–531. DOI: 10.2135/cropsci1988.0011183x002800030021x.
42. Pardossi A., Vernieri P., Tognoni F. Involvement of abscisic acid in regulating water status in *Phaseolus vulgaris* L. during chilling // Plant Physiol. 1992. No. 100. P. 1243–1250. DOI: 10.1104/pp.100.3.1243.

References

43. Ciampitti I. A., Briat J. F., Gastal F., Lemaire G. Redefining crop breeding strategy for effective use of nitrogen in cropping systems // Commun Biol. 2022. Iss. 5. Art. No. 823. DOI: 10.1038/s42003-022-03782-2.
1. Voss-Fels K. P., Stahl A., Hickey L. T. Q&A: modern crop breeding for future food security // BMC Biol. 2019. Vol. 17. Art. No. 18. DOI: 10.1186/s12915-019-0638-4.
2. Sapega V. A., Tursumbekova G. Sh. Yield, ecological plasticity and stability of spring soft and durum wheat varieties in the southern forest steppe of Tyumen region // Agricultural Science Euro-North-East. 2020. Vol. 21. No. 2. P. 114–123. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123.
3. Perfiliev N. V., Vyushina O. A., Vlasenko A. N. Efficiency of basic tillage systems in the cultivation of barley // Siberian Herald of Agricultural Science. 2021. Vol. 51. No. 1. P. 11–17. DOI: 10.26898/0370-8799-2021-1-1.
4. Moiseeva M. N., Eremin D. I. Influence of mineral fertilizers on the nitrogen accumulation in the grain and straw of oats in the forest-steppe of the Trans-Urals // Achievements of Science and Technology of AIC. 2023. Vol. 37. No. 2. P. 9–16. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_2_9.
5. Evseev V. V., Mikolaychik I. N., Morozova L. A. Model of integrated resistant variety spring wheat for soil-climatic conditions of the Kurgan region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science “International Conference on Agricultural Science and Engineering”. 2021. Vol. 845. Art. No. 012059. DOI: 10.1088/1755-1315/845/1/012059.
6. Gulyanov Yu. A. Assessment of modern bioclimatic resources and prospects of yield growth in the post-virgin regions of the Urals and Western Siberia // Taurida Herald of the of Agrarian Sciences. 2020. Vol. 24. No. 4. P. 29–41. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-4-24-29-41.
7. Tobolova G. V., Ostapenko A. V. Biochemical study of the collections of sowing and byzantine oats // Bulletin of the State Agrarian University of the Northern Urals. 2013. Vol. 23. No. 4. P. 13–16.
8. Abugalieva A. I., Loskutov I. G., Savin T. V., Chudinov V. A. Evaluation of naked oat accessions from VIR collection for their qualitative characteristics in Kazakhstan // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2021. Vol. 182. No. 1. P. 9–21. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-9-21.
9. Plant Abiotic Stress Physiology: Volume 2: Molecular Advancements // Ed. by Aftab T., Hakeem K. R. New York: Apple Academic Press, 2022. 322 p. DOI: 10.1201/9781003180579.
10. Wu J., Wang J., Hui W., Zhao F., Wang P., Su C., Gong W. Physiology of plant responses to water stress and related genes: a review // Forests. 2022. Vol. 13. No. 2. Art. No. 324. DOI: 10.3390/f13020324.
11. Guoqi W., Ma B.-L., Shi Y., Kui L., Chen W. Selection of oat (*Avena sativa* L.) drought-tolerant genotypes based on multiple yield-associated traits // J Sci Food Agric. 2023. Vol. 103. No. 9. P. 4380–4391. DOI: 10.1002/jsfa.12504.
12. ElBasyoni I., Saadalla M., Baenziger S., Bockelman H., Morsy S. Cell membrane stability and association mapping for drought and heat tolerance in a worldwide wheat collection // Sustainability. 2017. No. 9. Art. No. 1606. DOI: 10.3390/su9091606.
13. Sánchez-Martín J., Mur L. A. J., Rubiales D., Prats E. Targeting sources of drought tolerance within an *Avena spp.* collection through multivariate approaches // Planta. 2012. Vol. 236. No. 5. P. 1529–1545. DOI: 10.1007/s00425-012-1709-8.
14. Sayfullin R. G., Lobachev Yu. V., Beketova G. A., Kurasova L. G. Selection of varieties-standards for field experiments of the State Variety Testing Network // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2014. No. 6. P. 33–34.
15. Kayugina S. M., Eremin D. I. Dark gray forest soils humus state of the Northern Trans-Urals // Bulletin of KSAU. 2022. Vol. 187. No. 10. P. 35–42. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-10-35-42.
16. Kayugina S. M., Eremin D. I. Physicochemical properties of gray forest soils of the eastern outskirts of the Trans-Ural Plateau // Journal of Siberian Federal University. Series “Biology”. 2022. Vol. 15. No. 4. P. 471–490. DOI: 10.17516/1997-1389-0399.
17. Eremin D. I., Moiseeva M. N., Lyubimova A. V. The impact of mineral fertilizers on the consumption of mineral elements and the Siberian-bred oat grain // IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science “Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and

Digitalization of Production in Russia and Abroad” (DAICRA 2021). 2022. Vol. 949. Art. No. 012066. DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012066.

18. Perfiliev N. V., Vyushina O. A. Influence of tillage systems on agrophysical parameters of dark grey forest soil in the Northern Trans-Urals // *Zemledelie*. 2023. No. 1. P. 27–31. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-1-27-31.

19. Methodology of State variety testing of agricultural crops. Issue 1. General part. Moscow: Gossortkommissiya, 1989. 329 p.

20. Ortega-Ortega A., Jiménez-Galindo J. C., Parra-Quezada R. Á., Jacobo-Cuellar J. L., Ruiz-Anchondo Teresita D. J., Salmerón-Zamora J. J., Zamudio-Flores P. B., Malvar R. A. Osmotic stress tolerance in forage oat varieties (*Avena sativa* L.) based on osmotic potential trials // *Agronomy Research*. 2023. Vol. 21. No. 1. P. 1200–1210. DOI: 10.15159/AR.23.005.

21. Karshiboev Kh. Kh., Siddikov R. E., Pokrovskaya M. N. Sustainability of total water content and coagulation temperature of proteins in the leaves of durum wheat in dryland area // *Agrarian science*. 2018. No. 11-12. P. 54–55. DOI: 10.32634/0869-8155-2018-320-11-54-55.

22. Peltonen-Sainio P., Mäkelä P. Drought tolerance in oats – physiological methods to assess varietal differences // *Proceedings of the International Conference at the Occasion of the 75th Anniversary of the Wageningen Agricultural University “Plant Production on the Threshold of a New Century”*. 1994. Vol. 61. P. 465–467. DOI: 10.1007/978-94-011-1158-4_65.

23. Kebede G., Worku W., Feyissa F., Jifar H. Agro-morphological traits-based genetic diversity assessment on oat (*Avena sativa* L.) genotypes in the central highlands of Ethiopia // *All Life*. 2023. Vol. 16. Iss. 1. Art. No. 2236313. DOI: 10.1080/26895293.2023.2236313.

24. Zhang X., Liu W., Lv Y., Li T., Tang J., Yang X., Bai J., Jin X., Zhou H. Effects of drought stress during critical periods on photosynthesis characteristics and production performance of naked oat (*Avena nuda* L.). 2022. Vol. 12. No. 1. Art. No. 11199. DOI: 10.21203/rs.3.rs-1135270/v1.

25. Fedorova V. A., Naumova N. A., Tarasenkova Yu. P., Polyakov D. P. Promising varieties of spring oats for cultivation in conditions of semi-arid areas of Northern Caspian Depression // *Vestnik of the Mari State University. Chapter “Agriculture. Economics”*. 2019. No. 5. P. 335–341. DOI: 10.30914/2411-9687-2019-5-3-335-340.

26. Yusova O. A., Nikolaev P. N., Aniskov N. I., Safonova I. V. Screening of oat cultivars developed in Omsk for conditions of the southern forest-steppe in Western Siberia // *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021. Vol. 16. No. 1. P. 42–53. DOI: 10.22363/2312-797X-2021-16-1-42-53.

27. Zinatullina A. E. On the question about the complex evaluation of wheat drought resistance in field and laboratory conditions // *Ecobiotech*. 2022. Vol. 5. No. 3. P. 108–117. DOI: 10.31163/2618-964X-2022-5-3-108-117.

28. Varavkin V. A. Identification of drought resistance in winter wheat varieties in terms of xeromorphy and water-holding capacity // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science “Biological Technologies in Agriculture: from Molecules to Ecosystems”*. 2021. Vol. 839. Art. No. 042028. DOI: 10.1088/1755-1315/839/4/042028.

29. Besaliev I. N., Panfilov A. L., Reger N. S. Water-retaining capacity of plants of spring soft wheat varieties in dry conditions of Orenburg Cisurals // *Vesnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2022. Vol. 59. No. 3. P. 20–25. DOI: 10.18286/1816-4501-2022-3-20-25.

30. Kapilan R., Vaziri M., Zwiazek J. J. Regulation of aquaporins in plants under stress // *Biol Res*. 2018. Vol. 51. Art. No. 4. DOI: 10.1186/s40659-018-0152-0.

31. Puzina T. I., Makeeva I. Yu. Regulation of transmembrane water flow in *Avena sativa* seedlings under drought conditions // *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2023. Vol. 41. No. 1. P. 93–102. DOI: 10.21685/2307-9150-2023-1-7.

32. Kabashov A. D., Loskutov I. G., Vlasenko N. M., Leibovich Ya. G., Markova A. S., Filonenko Z. V., Razumovskaya L. G. Oat cultivars developed at Nemchinovka and included into the State Register in recent years (review) // *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2020. Vol. 181. No. 1. P. 110–118. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-110-118.

33. Tulyakova M. V., Batalova G. A., Permyakova S. V., Krotova N. V. Source material of chaffy oats for breeding for high yield // *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2019. Vol. 33. No. 7. P. 9–12. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10702.

34. Xie H., Li M., Chen Y., Zhou Q., Liu W., Liang G., Jia Z. Important physiological changes due to drought stress on oat // *Front. Ecol. Evol*. 2021. Vol. 9. Art. No. 644726. DOI: 10.3389/fevo.2021.644726.

35. Nikolaev P. N., Yusova O. A., Vasyukevich S. V., Aniskov N. I., Safonova I. V. Adaptive potential of spring oat varieties by “mass of 1000 grains” in the conditions of Omsk Priirtyshye // *Agrophysica*. 2019. No. 2. P. 38–44. DOI: 10.25695/AGRPH.2019.02.06

36. Aseeva T. A., Trifuntova I. B. Agronomic stability of varieties and breeding lines of oats of the Far Eastern selection in the conditions of the Middle Amur Region // *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2021. No. 91. P. 12–17. DOI: 10.21515/1999-1703-91-12-17.

37. Gong W., Ju Z., Chai J., Zhou X., Lin D., Su W. Zhao G. Physiological and Transcription Analyses Reveal the Regulatory Mechanism in Oat (*Avena sativa*) Seedlings with Different Drought Resistance under PEG-Induced Drought Stress // *Agronomy*. 2022. No. 12. P. 1005. DOI: 10.3390/agronomy12051005.
38. Petunkina L. O., Svirikova S. V., Mayevskaya N. A., Startsev A. A. Physiological estimation of oats' resistance // *Bulletin of Kemerovo State University*. 2012. Vol. 52. No. 4-1. P. 20–24.
39. Svirikova S. V., Startsev A. A., Zaushintsena A. V. Reaction of oat varieties on the variability of weather factors in the south of Western Siberia // *Modern Problems of Science and Education*. 2016. No. 5.
40. Schonfeld M. A., Johnson B. F., Carver B.F., Mornhiweg D. W. Water relations in winter wheat as drought resistance indicator // *Crop Sci*. 1988. No. 28. P. 526–531. DOI: 10.2135/cropsci1988.0011183x002800030021x.
41. Pardossi A., Vernieri P., Tognoni F. Involvement of abscisic acid in regulating water status in *Phaseolus vulgaris* L. during chilling // *Plant Physiol*. 1992. No. 100. P. 1243–1250. DOI: 10.1104/pp.100.3.1243.

UDC 633.112.1

Eremin D. I., Eremina D. V., Lyubimova A. V.

RELATIVE WATER CONTENT AND LEAF CELL MEMBRANE STABILITY INDEX AS SCREENING TOOLS FOR DROUGHT TOLERANCE IN OATS

Summary. *Summer droughts are becoming more frequent in the temperate zone, so the creation of drought-tolerant oat varieties is one of the key tasks for breeders. When evaluating the source material, it is important to use express methods that identify plant stress caused by abiotic factors. The aim of the research was to identify drought-resistant genotypes for oat breeding according to indicators characterizing the response of cell membranes to stress caused by soil moisture deficiency. The studies were carried out in 2020–2022 in a summer greenhouse, which excluded precipitation. Forty domestic varieties of oats from the collection of the Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – branch of the Tyumen Scientific Center SB RAS were studied. Special attention was paid to such indicators as membrane stability index (MSI) and relative water content (RWC) in leaves. The experiment included the following options: 1. control – oats grew in optimal moisture conditions; 2. soil drought in tillering; 3. drought in flowering. It was found that, on average for the collection, the decrease in MSI during drought in tillering and flowering was 14 and 10%, respectively; the decrease in RWC – 12 and 10%. It was revealed that in the cultivars 'Privet', 'Sig', 'Faust', 'KROSS', 'Chizh', 'Lgovsky 82' and 'Ulov', the decrease in the cell membrane stability index and relative water content in leaves was less than 10% and 8%, respectively. Hence, these cultivars can be recommended for breeding for drought resistance. In cultivars 'Egorych', 'Taezhnik', 'Dedal', 'Desant', 'Pokrovsky 9' and 'Pesets', the decrease in MSI and RWC was more than 16 and 12%, respectively. We identified some varieties in which soil drought during tillering caused severe stress, but it was absent during later drought. It had been established that the correlation between the absolute values of MSI, RWC and crop structure elements was very weak. A close relationship was noted between the relative decrease in these indicators and mass of 1000 grains – $r = 0.81$ and 0.75 , respectively. It is recommended to use the membrane stability index and the relative water content in leaves in the selection of parental forms and analysis of hybrid combinations in the process of drought-tolerant oat varieties breeding.*

Keywords: *oats (*Avena sativa* L.), plant stress, oat drought tolerance, membrane stability index, soil drought, disturbance of biochemical reactions, parental forms.*

Ерёмин Дмитрий Иванович, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Тюменский научный центр сибирского отделения РАН»»; Россия, 625501, Тюменская область, п. Московский, ул. Бурлаки, 2; e-mail: soil-tyumen@yandex.ru.

Ерёмина Диана Васильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья»; Россия, 625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7; e-mail: ereminadv@gausz.ru.

Любимова Анна Валерьевна, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией геномных исследований в растениеводстве. ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Тюменский научный центр сибирского отделения РАН»»; Россия, 625501, Тюменская область, пос. Московский, ул. Burlaki, 2; e-mail: ostapenkoav88@yandex.ru.

Eremin Dmitry Ivanovich, Dr. Sc. (Biol.), associate professor, leading researcher at the Laboratory of genomic research in plant breeding of the Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – branch of the Tyumen Scientific Center SB RAS; 2, Burlaki str., Moskovsky village, Tyumen region, 625501, Russia; e-mail: soil-tyumen@yandex.ru.

Eremina Diana Vasilevna, Cand. Sc. (Agr.), associate professor at the Northern Trans-Ural State Agricultural University; 7, Respubliki str., Tyumen, 625003, Russia; e-mail: ereminadv@gausz.ru.

Lyubimova Anna Valeryevna, Cand. Sc. (Biol.), head of the Laboratory of genomic research in plant breeding of the Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – branch of the Tyumen Scientific Center SB RAS; 2, Burlaki str., Moskovsky village, Tyumen region, 625501, Russia; e-mail: ostapenkoav88@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 28.08.2023.

Дата принятия к печати – 21.09.2023

DOI 10.5281/zenodo.10135342

EDN YDXWYO

УДК 633.81

Каширина Н. А., Мишнев А. В., Дроботова Е. Н., Грунина Е. Н., Невкрытая Н. В.
**ХАРАКТЕРИСТИКА КОЛЛЕКЦИИ МЯТЫ (*MENTHA L.*) ФГБУН «НИИСХ
КРЫМА» ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ПРОДУКТИВНОСТИ**
ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. Для повышения эффективности производства и расширения ассортимента эфиромасличной продукции необходимо создание новых высокопродуктивных сортов мяты разных направлений использования. Цель исследования – изучение коллекции мяты (*Mentha L.*) «Научно-исследовательского института сельского хозяйства Крыма» по основным показателям продуктивности и выделение перспективных образцов для использования в селекционном процессе. Исследования проводили в 2019–2021 гг. на экспериментальном участке, расположенном в Предгорье Крыма (с. Крымская Роза, Белогорский район). Изучено 136 образцов, в том числе шесть сортов института (Краснодарская 2, Заграва, Удайчанка, Прилукская карвонная, Ажурная и Бергамотная). Коллекционный питомник общей площадью 260 м² ежегодно закладывали рассадой в конце апреля. Схема посадки – 1,0×0,6 м, площадь учетной делянки – 0,6 м². Наиболее высокие показатели продуктивности отмечены в благоприятных гидротермических условиях 2020 г. Урожайность зеленой массы за период изучения составила в коллекции в среднем 85,8 ± 3,5 ц/га при диапазоне изменчивости от 23,8 ± 3,2 до 227,3 ± 33,3 ц/га. Выделено 38 (28 %) образцов с урожайностью выше 100 ц/га. Сбор сухого листа в коллекции в среднем составил 14,4 ± 0,5 ц/га (4,2 ± 0,6 – 30,6 ± 3,4 ц/га). Выделено 28 образцов (21 %) с высоким сбором сухого листа – от 18 ц/га и выше. Содержание эфирного масла в воздушно-сухом сырье варьировало в коллекции от 0,6 ± 0,1 до 5,8 ± 0,2 % при среднем показателе 2,8 ± 0,1 %. В группу высокомасличных с массовой долей эфирного масла от 4,1 до 5,8 % вошли 23 (17 %) образца. Сбор эфирного масла варьировал от 4,2 ± 0,4 до 138,7 ± 9,3 кг/га при среднем показателе 44,4 ± 2,6 кг/га. Выделено 32 образца (24 %) с высоким сбором эфирного масла – от 61 кг/га и выше. По комплексу и/или отдельным параметрам продуктивности для включения в селекционный процесс рекомендовано 11 образцов.

Ключевые слова: мята, *Mentha L.*, показатели продуктивности, хозяйственно ценные признаки.

Для цитирования: Каширина Н. А., Мишнев А. В., Дроботова Е. Н., Грунина Е. Н., Невкрытая Н. В. Характеристика коллекции мяты (*Mentha L.*) ФГБУН «НИИСХ Крыма» по показателям продуктивности // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3(35). С. 89–102. EDN: YDXWYO. DOI: 10.5281/zenodo.10135342.

For citation: Kashirina N. A., Mishnev A. V., Drobotova E. N., Grunina E.N., Nevkrytaya N.V. Characteristics of *Mentha L.* samples from the collection of the Research Institute of Agriculture of Crimea by main indicators of productivity // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3(35). P. 89–102. EDN: YDXWYO. DOI: 10.5281/zenodo.10135342.

Введение

Мята (*Mentha L.*) – ценное пряноароматическое, лекарственное, эфиромасличное, медоносное растение, широко используемое в медицине, пищевом, парфюмерно-косметическом, ликероводочном производствах [1–9]. Мята привлекает

особое внимание специалистов как декоративное растение в ландшафтном дизайне, а также как средообразующее фитонцидное растение [10].

Высокая ценность мяты обусловлена наличием эфирного масла, содержание которого в листьях варьирует от 2 до 4 % и в соцветиях – от 4 до 6 %. Сырье также содержит такие ценные биологически активные вещества, как аскорбиновая кислота, рутин, каротин, урсоловая и олеиновая кислоты, гесперидин, бетаин, альфа-, бета- и гамма-токоферол [5].

Основным компонентом эфирного масла большинства сортов мяты является циклический спирт – ментол, придающий ему охлаждающий вкус и насыщенный приятный аромат. В состав эфирного масла разных видов мяты входит до 200 компонентов, в том числе α -пинен, лимонен, цинеол, дипентен, пулегон, ментон, карвон, линалоол, линалилацетат, ментофуран, пиперитон, эфиры уксусной и валериановой кислот, β -фелландрен и другие терпеноиды [5, 8, 11–16].

В РФ наиболее широко распространены ментол- и карвонсинтезирующие виды мяты (*M. piperita* L., *M. spicata* L.). Около 50 % объема эфирного масла используется для ароматизации продукции, 30 % – при создании медицинских препаратов и 20 % – в парфюмерно-косметическом, ликероводочном, кондитерском, табачном производствах [1, 5, 10, 13, 15]. Мятное масло, содержащее в качестве основного компонента ментол, обладает обезболивающим, антисептическим, спазмолитическим, антиоксидантным, бактерицидным, ранозаживляющим, тонизирующим, сосудорасширяющим, стимулирующим, отхаркивающим действиями [4–7, 9, 14, 17–28].

В отечественном издании «Флора СССР» указывается на существование 22 видов мяты [10]. Позднее наиболее полную классификацию для мят флоры СССР разработал В. В. Макаров. По его мнению, на территории СССР произрастало восемь «чистых» и шесть гибридных видов *Mentha* [29]. Lawtence В. М. считал, что род мята насчитывает 19 видов и 18 природных гибридов [29]. В настоящее время некоторые авторы предполагают существование в пределах рода *Mentha* 25 видов и 10 природных гибридов [26, 27, 30].

Представители рода *Mentha* – многолетние корневищные растения, широко распространенные по всему миру, кроме Антарктиды и Южной Америки. Основные места естественного произрастания: Европа, Азия, Африка, Австралия, Северная Америка [7, 8, 20, 21, 24, 28].

Стебель растений прямостоячий, четырехгранный, ветвистый, густооблиственный. Листовые пластинки продолговато-яйцевидной формы, с заостренной верхушкой, клиновидным или сердцевидным основанием, зубчатым, городчатым, выемчатым краем, с окраской от светло-зеленой до темно-зеленой [1, 5, 9, 10]. На нижней стороне листа, а также на чашечке цветка расположены эфиромасличные железки и трихомы, в которых накапливается эфирное масло. Цветки мелкие, розовой, белой, фиолетовой окраски, собраны в колосовидные или головчатые соцветия [17, 18, 27, 31].

В работах многих ученых показано, что различные виды мяты обладают высокой степенью полиморфизма по морфотипу (форма куста, форма и окраска листовой пластинки и соцветий, опушение), компонентному составу эфирного масла, а также по другим хозяйственно ценным признакам. Это открывает широкие возможности для селекционеров при создании перспективных сортов данной культуры [10, 18, 30–33].

В ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (НИИСХ Крыма) на протяжении многих лет проводят селекционные исследования мяты. Были разработаны принципы подбора родительских пар с использованием методов межвидовой гибридизации, экспериментальной полиплоидии, инбридинга и

создан ряд сортов мяты разнообразных направлений – ментольного, линалоольного, карвонного и линалоольно-линалилацетатного [16, 29–31, 34, 35].

Мировое производство эфирного масла мяты составляет свыше 1000 т в год. Основными ее производителями являются США, Аргентина, Перу, Китай, Индия, Япония. Возделывают мяту в Англии, Германии, Франции, Болгарии, Италии, Испании, Австралии, Голландии, Бразилии [5, 21, 32, 36]. В России потребность в мятном масле велика и составляет около 700 т в год, однако отечественным сырьем она удовлетворяется менее чем на 50 % и в значительной мере зависит от импорта [37, 38].

При выращивании мяты существует ряд проблем, с которыми сталкиваются ученые: нестабильные погодные условия в зимние периоды приводят к вымерзанию корневищ и снижению продуктивности растений, получение качественного посадочного материала, требующего регулярного полива в засушливый период, дополнительные трудовые затраты в связи с переходом на рассадный способ посадки и однолетнюю культуру, контроль и борьба с вредителями и болезнями (мучнистая роса, ржавчина, мятный клещ и другие), все это значительно снижает урожайность данной культуры (до 40–60 %) [33].

После распада СССР и резкого снижения площадей возделывания мяты актуальным являлось возрождение мятоводства в РФ, создание новых высокоэффективных сортов разного направления использования, расширение площадей выращивания данной культуры, совершенствование агротехнических приемов возделывания.

В НИИСХ Крыма поддерживается, пополняется и изучается специализированная коллекция мяты, входящая в состав общей коллекции генофонда пряноароматических, эфиромасличных и лекарственных растений, зарегистрированной в России как уникальная научная установка (№507515 (<http://www.ckp-rf.ru>)). Коллекция мяты является источником перспективного исходного материала для создания новых высокопродуктивных сортов разных направлений использования, ее грамотное использование позволит расширить ассортимент продуктов переработки сырья мяты, удовлетворить потребности отечественных производителей, решив задачу импортозамещения.

Цель исследований – изучение коллекции мяты (*Mentha L.*) НИИСХ Крыма по основным показателям продуктивности и выделение перспективных образцов для селекционной работы.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2019–2021 гг. на экспериментальном участке НИИСХ Крыма, расположенном в восточной предгорной части Крыма (с. Крымская Роза Белогорского района). Климат в районе исследований умеренно-континентальный, характеризуется мягкой зимой и теплым засушливым летом [39].

Годы проведения исследования отличались по гидротермическим условиям.

Вегетационные периоды 2019–2021 гг. (март–сентябрь) характеризовались относительно стабильными температурами и незначительным их превышением над средними многолетними показателями (рисунок 1). Апрель и май 2020–2021 гг. по температурным показателям были близки к среднемноголетним данным. В 2019 г. отмечено небольшое превышение нормы (в среднем на 1,4 °С). Отклонение от нормы зафиксировано также в июне 2019 г. – +4,1 °С, в марте 2020 г. – +5,1 °С, сентябре 2020 г. – +4,8 °С. Наиболее жарким месяцем был июль 2021 г., средняя температура воздуха которого составила 24,4 °С (+2,1 °С к норме).

Среднемесячное количество осадков в 2019–2021 гг. было распределено неравномерно: весенний период характеризовался как крайне засушливый, а летний – дождливый (рисунок 2). Значительное количество осадков, превысившее

среднеголетние показатели, отмечено в июне 2020 г. (147,2 % от нормы) и сентябре 2021 г. (145,8 % от нормы). Июль являлся наиболее стабильным месяцем во все годы исследований по количеству осадков.

Мята считается влаголюбивой культурой, а недостаточное количество осадков в сочетании с высокими температурами снижало продуктивность растений. Во избежание этого в крайне засушливые периоды осуществлялся полив (по мере необходимости).

В 2020 г. запас влаги, созданный благодаря обильным дождям в июне–июле, и оптимальный температурный режим обеспечили хорошие условия для формирования зеленой массы растений мяты. В 2021 г. благодаря длительным повышенным температурам, засушливому весеннему периоду и выпадению осадков уже в период цветения, произошло активное осыпание листовых пластинок, что привело к снижению показателей продуктивности. Промежуточным был 2019 г., который характеризовался высоким температурным режимом, недостатком влаги в весеннее время и незначительным превышением осадков в летний период.

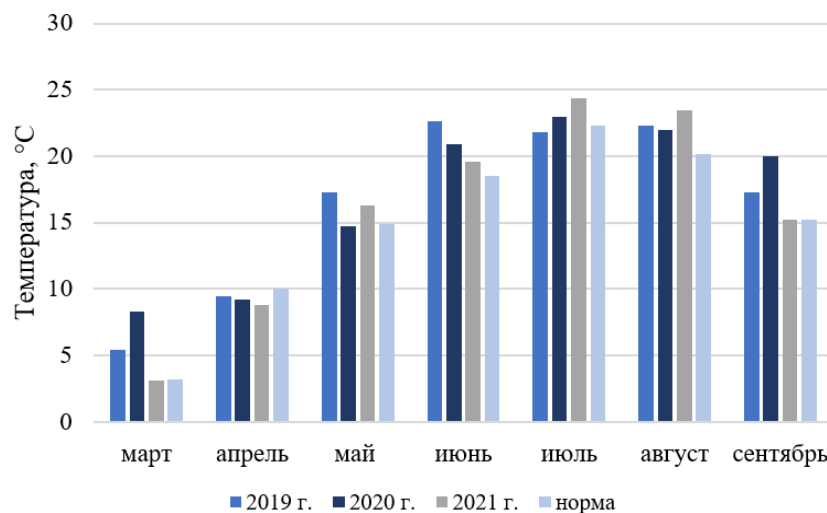


Рисунок 1 – Среднемесячная температура в период вегетации мяты

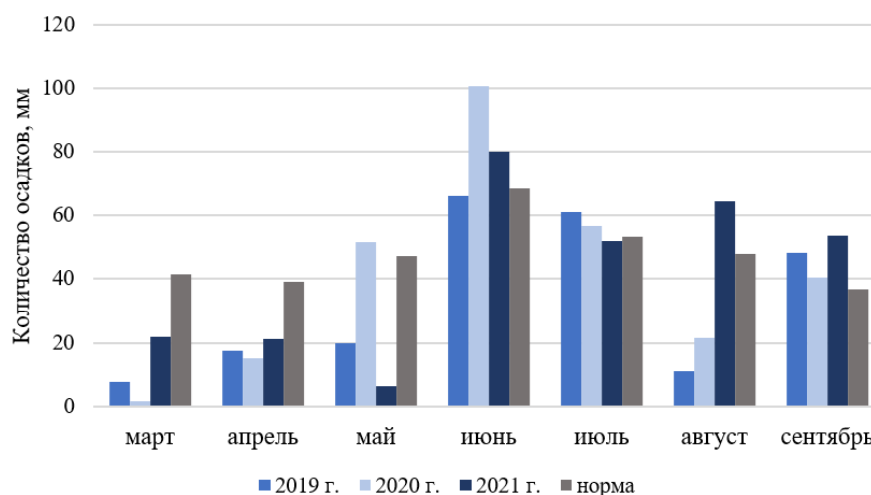


Рисунок 2 – Среднемесячное количество осадков в период вегетации мяты

Специализированная коллекция мяты НИИСХ Крыма насчитывает 136 образцов, шесть из которых – сорта селекции института (Краснодарская 2, Заграва,

Удайчанка, Прилукская карвонная, Ажурная и Бергамотная), включенные в «Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию» РФ [40]. Опытный участок мяты площадью 260 м² ежегодно закладывали рассадой в конце апреля. Образцы размещали на делянках длиной 1 м с междурядьями 0,6 м в двухкратной повторности. Площадь учетной делянки – 0,6 м², расчетная норма высадки в зависимости от сорта и способа возделывания – 95–110 тыс. шт. растений на 1 га (восемь шт. на делянку) (рисунок 3). Оценку коллекционных образцов и сортов мяты по показателям продуктивности выполняли согласно методическим указаниям по селекции эфиромасличных культур [41]. Уборку проводили в фазе 50 % цветения. Определяли урожай зеленой массы с делянки. Для определения сбора сухого листа в момент уборки срезали и взвешивали по два пробных снопа, которые затем высушивали, обмолачивали и снова взвешивали. По соотношению массы полученного сухого листа к массе сырого снопа рассчитывали сбор сухого листа. Массовую долю эфирного масла в воздушно сухих листьях и соцветиях определяли по методу Гинзберга, после чего рассчитывали сбор эфирного масла [42]. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета прикладных программ Microsoft Office Excel 2010 [43–45].



Рисунок 3 – Коллекция мяты ФГБУН НИИСХ Крыма

Результаты и их обсуждение

Коллекция образцов мяты ФГБУН «НИИСХ Крыма» включает образцы из разных регионов мира: Россия – 104 образца (Республика Крым – 76 образцов, Москва – 24 образца, Краснодарский край – три образца, о. Сахалин – один образец), Украина – 23 образца (Черниговская область – 21 образец, Полтавская область – два образца), Голландия – один образец, Великобритания – один образец, США – один образец, Польша – три образца, Болгария – два образца, Франция – один образец (рисунок 4).

В составе коллекции 18 сортов, семь полиплоидных форм, 43 гибрида, 17 селекционных линий, 27 дикорастущих форм, 24 образца из частной коллекции И.М. Спивака. При оценке коллекции не предполагалось наличие контрольного варианта. Показатели входящих в ее состав сортов служат ориентиром при отборе образцов для дальнейших исследований. Видовой состав образцов мяты представлен в таблице 1.

Важное значение при отборе коллекционных образцов для селекционных исследований имеют показатели их продуктивности – урожай зеленой массы, сбор сухого листа, массовая доля и сбор эфирного масла. Результаты исследования коллекции мяты представлены в таблице 2.

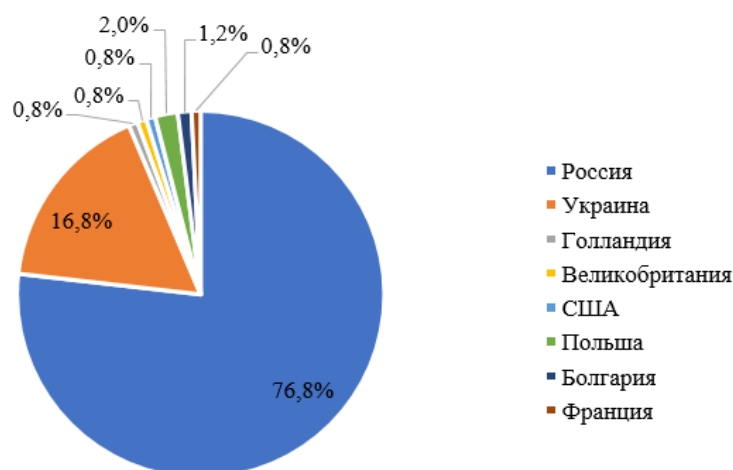


Рисунок 4 – Регионы происхождения образцов мяты

Таблица 1– Видовой состав коллекционных образцов мяты, 2022 г.

Вид	Количество образцов, шт.
<i>Mentha canadensis</i> L., в том числе искусственные полиплоиды, инцухт линии, межвидовые гибриды на основе этого вида (материнская форма)	38
<i>Mentha piperita</i> L.	10
<i>Mentha longifolia</i> (L.) Huds., в том числе, искусственные полиплоиды, инцухт линии, потомство от свободного опыления	30
<i>Mentha citrata</i> (4n) Ehrh., в том числе межвидовые гибриды на основе этого вида (материнская форма)	8
<i>Mentha crispa</i> L.	1
<i>Mentha rotundifolia</i> (L.) Huds.	4
<i>Mentha arvensis</i> L.	2
<i>Mentha spicata</i> L., в том числе инцухт линии, потомство от свободного опыления	23
<i>Mentha piperita</i> var. <i>citrata</i> (Ehrh.) Briq.	8
<i>Mentha spicata</i> L.subsp. <i>citrata</i>	1
<i>Mentha piperita</i> L. × <i>Mentha pulegium</i> L.	1
<i>Mentha smithiana</i> L. × <i>M. aquatica</i> L. × <i>M. arvensis</i> L. × <i>M. spicata</i> L.	1
<i>Mentha suaveolens</i> Ehrh.	2
<i>Mentha gentilis</i> L. × <i>Mentha gracilis</i> Sole	1
<i>Mentha spicata</i> Huds. var. <i>crispa</i> Schrad.	1
Виды с неустановленным систематическим положением	5

Таблица 2 – Характеристика образцов коллекции мяты по показателям продуктивности, 2019–2021 гг.

Значение показателя	Урожайность зеленой массы, ц/га	Сбор сухого листа, ц/га	Массовая доля эфирного масла от воздушно-сухой массы, %	Сбор эфирного масла, кг/га
\bar{x}	85,8 ± 3,5	14,4 ± 0,5	2,8 ± 0,1	44,4 ± 2,6
Lim \bar{x}_{\min} - \bar{x}_{\max}	23,8–227,3	4,2–30,6	0,6–5,8	4,2–138,7
Cv, %	47,8	36,6	37,6	64,5

Примечание. \bar{x} – среднее, lim – размах варьирования, Cv – коэффициент вариации.

Урожайность зеленой массы в коллекции в среднем за весь период изучения составила 85,8 ± 3,5 ц/га при диапазоне изменчивости от 23,8 до 227,3 ц/га.

Коэффициент вариации $C_v = 47,8\%$ свидетельствует о перспективности отбора высокоурожайных образцов в качестве исходного материала для селекции.

Исходя из полученных данных, все образцы разделены на высокопродуктивные, среднепродуктивные и низкопродуктивные. Наибольшее количество образцов – 55 (40 %) отнесено к группе низкоурожайных (до 70 ц/га), в группу среднеурожайных (71–100 ц/га) вошло 43 (32 %) образца. Потенциальными донорами высокой урожайности являются образцы (38 шт. – 28 %), у которых данный показатель выше 100 ц/га. В эту группу вошли все сорта НИИСХ Крыма (155,6–227,3 ц/га).

Эфирное масло высокого качества содержится в листьях. В соцветиях качество масла хуже из-за пониженного содержания ментола и значительного количества ментофурана [5]. Исходя из этого, задачей селекционера является создание сортов мяты с высоким сбором листа. Следует отметить, что при возделывании мяты необходимо создавать максимальные условия для развития листьев, не допускать переувлажнения почвы, проводить фитосанитарный мониторинг на наличие вредителей и болезней.

Так как традиционно большая часть сырья мяты используется в виде сухого сырья (в том числе в аптечной сети), при оценке коллекции продуктивность учитывали по сбору сухого листа. Данный показатель в коллекции в среднем за годы исследований составил $14,4 \pm 0,5$ ц/га при диапазоне изменчивости по образцам от $4,2 \pm 0,6$ до $30,6 \pm 3,4$ ц/га (см. таблицу 2). Все образцы мяты по данному показателю разделены на три группы: с высоким сбором сухого листа (от 18 ц/га и выше) – 28 (21 %) образцов, со средним сбором (от 10 до 18 ц/га) – 83 (61 %) и низким сбором (до 10 ц/га) – 25 (18 %). Сорта НИИСХ Крыма отнесены к группе с высоким сбором сухого листа (22,5–30,6 ц/га). Коэффициент вариации $C_v = 36,6\%$ свидетельствует об эффективности отбора образцов, перспективных для селекции.

Наиболее важным показателем для эфиромасличных растений является содержание эфирного масла в сырье. Величина этого показателя зависит от почвенно-климатических условий, количества осадков, температуры воздуха, освещенности. Оптимальными условиями для его накопления являются высокий температурный режим и относительно невысокая влажность воздуха в период цветения [5]. Проведенный нами анализ содержания эфирного масла показал его высокую изменчивость у исследуемых образцов мяты. Следует отметить, что в коллекции присутствуют образцы, имеющие невысокие показатели урожайности зеленой массы и сбора сухого листа, однако представляющие интерес в связи с высоким содержанием эфирного масла в сырье.

По данным трех лет изучения массовая доля эфирного масла варьировала в коллекции от $0,6 \pm 0,1$ до $5,8 \pm 0,2\%$ (от воздушно-сухой массы) при среднем значении $2,8 \pm 0,1\%$ (см. таблицу 2). По данному показателю все образцы разделены на: высокомасличные, наиболее ценные для селекции, с массовой долей эфирного масла от 4,1 до 5,8 % – 23 образца (17 %), среднемасличные – от 2,1 до 4,0 % – 76 образцов (56 %) и низкомасличные – менее 2 % – 37 образцов (37 %). Сорта НИИСХ Крыма Бергамотная, Ажурная, Удайчанка вошли в группу высокомасличных (соответственно $4,1 \pm 0,2$; $4,7 \pm 0,3$ и $4,8 \pm 0,2\%$), а сорта Прилукская карвонная, Заграва и Краснодарская 2 – в группу среднемасличных (соответственно $3,5 \pm 0,2$; $3,3 \pm 0,1$ и $2,9 \pm 0,1\%$). Коэффициент вариации данного показателя в коллекции $C_v = 37,6\%$. Это позволяет говорить о возможности отбора образцов-доноров высокой масличности для дальнейших исследований.

Результирующим показателем продуктивности является сбор эфирного масла. В коллекции за годы исследования он варьировал от $4,2 \pm 0,4$ до $138,7 \pm 9,3$ кг/га при среднем показателе $44,4 \pm 2,6$ кг/га. Вариабельность в коллекции по данному показателю наиболее высокая – $C_v = 64,5\%$. Среди образцов коллекции выделено 32

(24 %) с высоким сбором эфирного масла (от 61 кг/га и выше), включая все сорта НИИСХ Крыма (63,9–138,7 ц/га), со средним (от 31 до 60 кг/га) – 53 (39 %) и с низким (до 30 кг/га) – 51 (37 %).

По комплексу или отдельным показателям 11 образцов коллекции рекомендованы как перспективные для включения в селекционный процесс (таблица 3).

Таблица 3 – Характеристика коллекционных образцов мяты, перспективных для включения в селекционный процесс

Образец	Вид	Урожайность зеленой массы, ц/га	Сбор сухого листа, ц/га	Массовая доля эфирного масла на воздушно-сухую массу, %	Сбор эфирного масла, кг/га
87.35.9	<i>Mentha canadensis</i> L.	138,2 ± 8,1	22,2 ± 2,9	5,8 ± 0,2	133,6 ± 7,2
2.6.41	<i>Mentha canadensis</i> L.	113,5 ± 5,0	17,5 ± 2,6	5,1 ± 0,2	86,2 ± 6,1
88.16.142	<i>Mentha canadensis</i> L.	104,7 ± 8,2	16,9 ± 2,0	5,0 ± 0,2	85,6 ± 3,5
89.2.180	<i>Mentha canadensis</i> L.	83,0 ± 3,1	18,1 ± 1,4	5,0 ± 0,3	90,5 ± 6,9
94.35.30	<i>Mentha longifolia</i> (L.) Huds.	99,7 ± 6,3	14,7 ± 1,8	4,9 ± 0,3	61,6 ± 2,9
7.2.38	<i>Mentha citrata</i> Ehrh.	210,4 ± 5,9	23,4 ± 4,4	4,6 ± 0,2	122,3 ± 7,9
7.2.49	<i>Mentha citrata</i> Ehrh.	121,9 ± 6,6	17,4 ± 2,2	4,6 ± 0,1	88,0 ± 2,6
3.9.14	<i>Mentha spicata</i> L.	86,5 ± 7,3	15,2 ± 0,9	4,5 ± 0,2	67,0 ± 3,9
3.5.58	<i>Mentha canadensis</i> L.	208,9 ± 5,6	26,8 ± 1,8	4,5 ± 0,1	130,1 ± 8,2
7.2.63	<i>Mentha citrata</i> Ehrh.	119,4 ± 13,4	22,4 ± 2,3	4,2 ± 0,2	98,4 ± 5,0
94.33.23	<i>Mentha longifolia</i> (L.) Huds.	93,7 ± 3,3	20,2 ± 1,8	4,0 ± 0,1	51,6 ± 4,3
Сорта «НИИСХ Крыма»					
Прилукская карвонная	<i>Mentha canadensis</i> L. (4n) × <i>Mentha longifolia</i> (L.) Huds.	223,2 ± 15,9	28,1 ± 2,7	3,5 ± 0,2	105,2 ± 7,7
Заграва	<i>Mentha canadensis</i> L.(4n) × <i>Mentha longifolia</i> (L.) Huds.	227,3 ± 33,3	30,6±3,4	3,3±0,1	96,4±10,5
Удайчанка	<i>Mentha canadensis</i> L.(4n) × <i>Mentha longifolia</i> (L.) Huds.	198,1 ± 16,0	25,4 ± 2,2	4,8 ± 0,2	111,4 ± 9,5
Краснодарская 2	<i>Mentha</i> × <i>piperita</i> L.	155,6 ± 8,1	22,5 ± 1,8	2,9 ± 0,1	63,9 ± 5,2
Ажурная	<i>Mentha canadensis</i> L. (4n), потомство от свободного опыления искусственного полиплоида	189,3 ± 7,0	26,9 ± 3,6	4,7 ± 0,3	138,7 ± 9,3
Бергамотная	(<i>Mentha citrata</i> Ehrh. (4n) × <i>Mentha longifolia</i> (L.) Huds. (4n)) × <i>Mentha spicata</i> L.	226,5 ± 8,2	28,6 ± 3,3	4,1 ± 0,2	118,9 ± 7,0

Примечание. В приведенной таблице жирным шрифтом отмечены показатели, по которым выделены коллекционные образцы, перспективные для включения в селекционный процесс.

Все образцы отличаются высоким содержанием в сырье эфирного масла – 4,0–5,8 %. Особый интерес представляют четыре образца (87.35.9, 7.2.38, 3.5.58, 7.2.63), характеризующиеся сочетанием высоких показателей всех проанализированных хозяйственно ценных признаков. При создании новых сортов разных направлений использования данные образцы могут служить источником ценных признаков. В качестве сравнения в таблицу включены показатели сортов мяты селекции НИИСХ Крыма.

Выводы

В результате изучения 136 образцов коллекции мяты НИИСХ Крыма выявлен широкий диапазон изменчивости по основным показателям продуктивности.

За трехлетний период исследования (2019–2021 гг.) урожайность зеленой массы у разных образцов коллекции варьировала от 23,8 ± 3,2 до 227,3 ± 33,3 ц/га, сбор сухого

листа – от $4,2 \pm 0,6$ до $30,6 \pm 3,4$ ц/га, массовая доля эфирного масла – от $0,6 \pm 0,1$ до $5,8 \pm 0,2$ % (от воздушно-сухой массы), сбор эфирного масла – от $4,2 \pm 0,4$ до $138,7 \pm 9,3$ кг/га.

По комплексу признаков и по отдельным показателям продуктивности выделено 11 образцов, перспективных для включения в селекционный процесс. Из них четыре образца коллекции отличаются комплексом высоких показателей всех проанализированных хозяйственно ценных признаков, их можно использовать в дальнейшей работе по созданию сортов разных направлений использования как источник ценных признаков.

Литература

1. Паштецкий В. С., Невкрытая Н. В., Мишнев А. В., Назаренко Л. Г. Эфиромасличная отрасль Крыма. Вчера, сегодня, завтра. Симферополь: Ариал, 2018. 317 с.
2. Невкрытая Н. В., Мишнев А. В. Программа возрождения эфиромасличной отрасли в Крыму // В кн.: Научно обоснованная стратегия развития агропромышленного комплекса Крыма до 2020 г. Симферополь: Ариал, 2016. С. 68–95.
3. Паштецкий В. С., Невкрытая Н. В., Мишнев А. В. Концепция возрождения эфиромасличной отрасли в Крыму // Материалы международной научно-практической конференции «Научный и инновационный потенциал развития производства, переработки и применения эфиромасличных и лекарственных растений». Симферополь: Ариал, 2021. С. 26.
4. Лукомец В. М. Эфиромасличные культуры. Краснодар: Просвещение-Юг, 2017. 295 с.
5. Мустяцэ Г. И. Культура мяты перечной. Кишинев: Штиинца, 1985. 165 с.
6. Abdel-Nameed E. S., Salman M. S., Fadl M. A., Elkhateeb A., Hassan M. M. Chemical composition and biological activity of *Mentha longifolia* L. essential oil growing in Taif, KSA extracted by hydrodistillation, solvent free microwave and microwave hydrodistillation // Journal Essential Oil-Bearing Plants. 2018. Vol. 21 (1). P. 1–14. DOI: 10.1080/0972060X.2018.1454343.
7. Okut N., Yagmur M., Selcuk N., Yildirim B. Chemical composition of essential oil of *Mentha longifolia* L. subsp. *longifolia* growing wild // Pakistan Journal of Botany. 2017. Vol. 49 (2). P. 525–529. DOI: 10.5530/ajbls.2019.8.9.
8. Tafrihi M., Imran M., Tufail T., Gondal T. A., Caruso G., Sharma S., Sharma R., Atanassova M., Atanassov L., Fokou V., Pezzani R. The wonderful activities of the genus *Mentha*: not only antioxidant properties // Molecules. 2021. Vol. 26 (4). Art. No. 1118. DOI: 10.3390/molecules26041118.
9. Fatih B., Madani K., Chibane M., Duez P. Chemical composition and biological activities of *Mentha species* // In book: Aromatic and medicinal plants – Back to Nature. Ed. by El-Shemy H., IntechOpen, 2017. P. 47–78. DOI: 10.5772/67291.
10. Морозов А. И. Исходный материал для селекции мяты и хозяйственная ценность сортов разного целевого назначения // Материалы международной научно-практической конференции «Принципы улучшения садовых культур». Плодоводство и ягодоводство России. М.: ГНУ ВСТИСП Россельхозакадемии. 2012. Т. XXXI. Ч. 2. С. 78–85.
11. Гагиева Л. Ч. Содержание некоторых биологически активных веществ в мяте длиннолистой, произрастающей в РСО-Алания // Известия ГГАУ. 2012. Т. 49. Ч. 3. С. 488–490.
12. Мусина А. И., Кадцына Д. Д., Полуяхтов М. Н. Продуктивность различных видов мяты в условиях Среднего Урала // Молодежь и наука. 2016. Вып. 1. С. 42–46.
13. Пелях Е. М., Мельник В. В. Использование дикорастущих популяций мяты Молдовы в селекции на химический состав // Научные труды Чебоксарского филиала ГБС РАН. 2019. Вып. 13. С. 73–76.
14. Mahendran G., Rahman L.-U. Ethnomedicinal, phytochemical and pharmacological updates on peppermint (*Mentha × piperita* L.) – a review // Phytotherapy Research. 2020. Vol. 34 (9). P. 2088–2139. DOI: 10.1002/ptr.6664.
15. Махамматова С. Х. Химический состав мяты, ее значение в производстве лекарств и применение в народной медицине // Экономика и социум. 2023. Вып. 4 (107). С. 715–718.
16. Шульга Е. Б., Мишнев А. В. Новый линалоольно–линалилацетатный сорт мяты Бергамотная // Таврический вестник аграрной науки. 2016. Вып. 1 (5). С. 35–43.
17. Анищенко И. Е., Жигунов О. Ю., Ишбирдина Л. М. Малораспространенные в Башкортостане виды рода *Mentha* L. // Вестник БГАУ. 2017. Вып. 2. С. 93–96. DOI: 10.31563/1684-7628-2017-42-2-93-96.
18. Бочкарёв Н. И., Зеленцов С. В., Шуваева Т. П., Бородкина А. П. Таксономия, морфология и селекция ментольных мят (обзор) // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2015. Вып. 2 (162). С. 106–124.

19. Жученко Е. В., Маркелова Н. Н., Семенова Е. Ф., Преснякова В. С. Антимикробная активность эфирных масел современных сортов мяты // Материалы II международной научной конференции «Роль метаболизма в совершенствовании биотехнологических средств производства». Метаболизм и качество жизни. М.: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений», 2019. С. 284–292.
20. Saqib S., Ullah F., Naeem M., Younas M., Ayaz A., Ali S., Zaman W. *Mentha*: nutritional and health attributes to treat various ailments including cardiovascular diseases // *Molecules*. 2022. Vol. 27 (19). P. 1–21. DOI: 10.3390/molecules27196728.
21. Salehi B., Stojanovic-Radic Z., Matejic J., Sharopov F., Antolak H., Kręgiel D., Sen S., Sharifi-Rad M., Acharya K., Sharifi-Rad R., Martorell M., Sureda A., Martins N., Sharifi-Rad J. Plants of genus *Mentha*: from farm to food factory // *Plants*. 2018. Vol. 7(3). Art. No. 70. DOI: 10.3390/plants7030070.
22. Trevisan S., Menezes A., Barbalho S., Guiguer E. Properties of *Mentha piperita*: a brief review // *World Journal of Pharmaceutical and Medical Research*. 2017. Vol. 3 (1). P. 309–313.
23. Saba I., Anwar F. Effect of harvesting regions on physico-chemical and biological attributes of supercritical fluid-extracted spearmint (*Mentha spicata* L.) leaves essential oil // *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2018. Vol. 21 (2). P. 400–419. DOI:10.1080/0972060X.2018.1458658.
24. Anwar F., Alkharfy K. M., Najeed U. R., Adam E. H. K., Gilani A. H. Chemo-geographical variations in the composition of volatiles and the biological attributes of *Mentha longifolia* (L.) essential oils from Saudi Arabia // *International Journal of Pharmacology*. 2017. Vol. 13. Iss. 5. P. 408–424. DOI: 10.3923/ijp.2017.408.424.
25. Farzaei M. H., Bahramsoltani R., Ghobadi A., Farzaei F., Najafi F. Pharmacological activity of *Mentha longifolia* and its phytoconstituents // *Journal of Traditional Chinese Medicine*. 2017. Vol. 37(5). P. 710–720. DOI: 10.1016/S0254-6272(17)30327-8.
26. Park Y. J., Baek S.-A., Choi Y., Kim J. K., Park S. U. Metabolic profiling of nine *Mentha* species and prediction of their antioxidant properties using chemometrics // *Molecules*. 2019. Vol. 24 (2). DOI: 10.3390/molecules24020258.
27. Eftekhari A., Khusro A., Ahmadian E., Dizaj S. M., Hasanzadeh A., Cucchiari M. Phytochemical and nutra-pharmaceutical attributes of *Mentha* spp.: a comprehensive review // *Arabian Journal of Chemistry*. 2021. Vol. 14 (5). P.103–106. DOI: 10.1016/j.arabjc.2021.103106.
28. Bouyahya A., Lagrouh F., El Omari N., Bourais I., El Jemli M., Marmouzi I., Salhi N., Faouzi M. E. A., Belmehdi O., Dakka N., Bakri Y. Essential oils of *Mentha viridis* rich phenolic compounds show important antioxidant, antidiabetic, dermatoprotective, antidermatophyte and antibacterial properties // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2020. Vol. 23. Art. No. 101471. DOI: 10.1016/j.bcab.2019.101471.
29. Мишнев А. В. Создание исходного материала для селекции мяты с нементольным составом эфирного масла. Дисс. к. с.-х. н. 2000 г. Симферополь: Институт эфиромасличных и лекарственных растений. С. 11–13.
30. Бугаенко Л. А., Шило Н. П. Полиплоидия и межвидовая гибридизация у мяты. Симферополь: Бизнес-Информ, 2012. 296 с.
31. Бугаенко Л. А. Дикорастущие виды мяты как носители генов устойчивости к неблагоприятным факторам окружающей среды // Самарский научный вестник. 2015. Вып. 2 (11). С. 24–30.
32. Морозов А. И. Селекция мяты разного целевого направления // Вестник Российской сельскохозяйственной науки, 2018. Вып. 5. С.52–55. DOI: 10.30850/vrsn/2018/5/52-55.
33. Морозов А. И. Агробиологические основы сортовой технологии возделывания мяты перечной в Нечерноземной зоне России. Автореферат дисс. доктора с.-х. наук. М.: ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства Россельхозакадемии», 2013. 42 с.
34. Мишнев А. В., Шульга Е. Б., Марченко М. П. Создание исходного материала линалоольно-линалилацетатной мяты (*Mentha* L.) в условиях Республики Крым // Овощеводство. 2015. Т. 23. С. 100–109.
35. Шульга Е. Б. Новые сорта мяты для Крыма и других регионов Юга России // Таврический вестник аграрной науки. 2017. Вып.1 (9). С. 28–36.
36. Кисничан Л. П., Баранова Н. В. Изучение коллекции мяты в ИГФЗР Р. Молдовы // Известия ФНЦО. 2020. № 3–4. С. 92–96. DOI: 10.18619/2658-4832-2020-3-4-92-95.
37. BusinesStat. Готовые обзоры рынков. Анализ рынка эфирных масел в России в 2018–2022 гг., прогноз на 2023–2027 гг. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://businesstat.ru/russia> (дата обращения 01.08.2023).
38. Паштецкий В. С., Вердыш М. В., Попова А. А., Колесникова А. В. Анализ рынков эфиромасличной продукции и состояния эфиромасличного производства в Российской Федерации // Экономика строительства и природопользования. 2017. № 4 (65). С. 49–54.
39. Савчук Л. П. Климат предгорья Крыма и эфиромасла. Симферополь, 2006. 76 с.

40. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорты растений (по состоянию на 02.06.2022 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gossortrf.ru/publication/reestry.php> (дата обращения 30.07.2023).
41. Селекция эфиромасличных культур: методические указания // Под ред. Аринштейн А. И. Симферополь: Всесоюзный научно-исследовательский институт эфиромасличных культур, 1977. 151 с.
42. Биохимические методы анализа эфиромасличных растений и эфирных масел: сборник научных трудов // Сост. Карпачева А. Н., Персидская К. Г., Лиштванова Л. Н. Симферополь: Всесоюзный научно-исследовательский институт эфиромасличных культур, 1972. 107 с.
43. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.
44. Методика полевых опытов по агротехнике эфиромасличных культур. Сборник научных трудов. Симферополь: ВНИИЭМК, 1972. 149 с.
45. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: «Высшая школа», 1990. 350 с.

References

1. Pashtetskiy V. S., Nevkrytaya N. V., Mishnev A. V., Nazarenko L. G. Essential oil industry in the Crimea. Yesterday, today, tomorrow. Simferopol: Arial, 2018. 317 p.
2. Nevkrytaya N. V., Mishnev A. V. Essential oil industry in the Crimea. Revival program // In book: Scientifically based strategy for the development of the agro-industrial complex of the Crimea until 2020. Simferopol: Arial, 2016. P. 68–95.
3. Pashtetskiy V. S., Nevkrytaya N. V., Mishnev A. V. Concept of the revival of the essential oilseed industry in Crimea // Materials of the international scientific and practical conference “Scientific and Innovative Potential for the Development of Production, Processing and Use of Essential Oil and Medicinal Plants”. Simferopol: Arial, 2021. P. 26.
4. Lukomets V. M. Essential oil crops. Krasnodar: Prosveshcheniye-Yug, 2017. 295 p.
5. Mustyatse G. I. The peppermint crop. Kishinev: Shtiintca, 1985. 165 p.
6. Abdel-Hameed E. S., Salman M. S., Fadl M. A., Elkhateeb A., Hassan M. M. Chemical composition and biological activity of *Mentha longifolia* L. essential oil growing in Taif, KSA extracted by hydrodistillation, solvent free microwave and microwave hydrodistillation // Journal of Essential Oil Bearing Plants. 2018. Vol. 21 (1). P. 1–14. DOI: 10.1080/0972060X.2018.1454343.
7. Okut N., Yagmur M., Selcuk N., Yildirim B. Chemical composition of essential oil of *Mentha longifolia* L. subsp. *longifolia* growing wild // Pakistan Journal of Botany. 2017. Vol. 49 (2). P. 525–529.
8. Tafrihi M., Imran M., Tufail T., Gondal T. A., Caruso G., Sharma S., Sharma R., Atanassova M., Atanassov L., Fokou V., Pezzani R. The wonderful activities of the genus *Mentha*: not only antioxidant properties // Molecules. 2021. Vol. 26 (4). Art. No. 1118. DOI: 10.3390/molecules26041118.
9. Fatih B., Madani K., Chibane M., Duez P. Chemical composition and biological activities of *Mentha species* // In book: Aromatic and medicinal plants – Back to Nature. Ed. by El-Shemy H., IntechOpen, 2017. P. 47–78. DOI: 10.5772/67291.
10. Morozov A. I. Source material for breeding mint and economic value of varieties of different purpose // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Principles of improvement of horticultural crops”. Fruit growing and berry growing in Russia. Moscow: State Scientific Institution All-Russian Horticultural Institute for Breeding, Agrotechnology and Nursery. 2012. Vol. XXXI. Ch. 2. P. 78–85.
11. Gagieva L. Ch., Kupeeva V. M. Content of some biologically active substances in menthe longifolia growing in North Ossetia-Alania // Proceedings of Gorsky State Agrarian University. 2012. Vol. 49. No.3. P. 488–490.
12. Musina A. I., Kadtsyna D. D., Poluyakhtova M. N. Productivity of different species of mint in the Middle Urals // Molodezh i Nauka. 2016. Iss. 1. P. 42–46.
13. Pelyah E. M., Melnik V. V. The use of wild mint populations of Moldova in breeding for chemical composition // Scientific Proceedings of the Cheboksary Branch the Main Botanical Garden Named After N. V. Tsitsin Russian Academy of Sciences. 2019. Iss.13. P.73–76.
14. Mahendran G., Rahman L.-U. Ethnomedicinal, phytochemical and pharmacological updates on peppermint (*Mentha × piperita* L.) – a review // Phytotherapy Research. 2020. Vol. 34 (9). P. 2088–2139. DOI: 10.1002/ptr.6664.
15. Makhmatova S. Kh. Chemical composition of mint, its significance in the production of medicines and application in traditional medicine // Ekonomika i Sotsium. 2023. Iss. 4 (107). P. 715–718.
16. Shulga E. B., Mishnev A. V. The new linalool-linalyl acetate mint variety ‘Bergamotnaya’ // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2016. No. 1 (5). P. 35–43.

17. Anishchenko I. E., Zhigunov O. Yu., Ishbirdina L. M. Rare species of *Mentha* L. in Bashkortostan // Vestnik BSAU. 2017. No. 2. P. 93–96. DOI: 10.31563/1684-7628-2017-42-2-93-96.
18. Bochkaryov N. I., Zelentsov S. V., Shuvaeva T. P., Borodkina A. P. Taxonomy, morphology and breeding of menthol mints (review) // Oil crops. Scientific and Technical Bulletin of the All-Russian Research Institute of Oil Crops. 2015. No. 2 (162). P. 106–124.
19. Zhuchenko E. V., Markelova N. N., Semenova E. F., Presnyakov V. S. Antimicrobial activity of essential oils of modern varieties of mint // Proceedings of the II International Scientific Conference “Role of Metabolomics in the Improvement of Biotechnological Means of Production” on the direction “Metabolomics and Life Quality”. Moscow: All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (VILAR), 2019. P. 284–292.
20. Saqib S., Ullah F., Naeem M., Younas M., Ayaz A., Ali S., Zaman W. *Mentha*: nutritional and health attributes to treat various ailments including cardiovascular diseases // Molecules. 2022. Vol. 27 (19). P. 1–21. DOI: 10.3390/molecules27196728.
21. Salehi B., Stojanovic-Radic Z., Matejic J., Sharopov F., Antolak H., Kregiel D., Sen S., Sharifi-Rad M., Acharya K., Sharifi-Rad R., Martorell M., Sureda A., Martins N., Sharifi-Rad J. Plants of genus *Mentha*: from farm to food factory // Plants. 2018. Vol. 7(3). Art. No. 70. DOI: 10.3390/plants7030070.
22. Trevisan S., Menezes A., Barbalho S., Guiguer E. Properties of *Mentha piperita*: a brief review // World Journal of Pharmaceutical and Medical Research. 2017. Vol. 3 (1). P. 309–313.
23. Saba I., Anwar F. Effect of harvesting regions on physico-chemical and biological attributes of supercritical fluid-extracted spearmint (*Mentha spicata* L.) leaves essential oil // Journal of Essential Oil Bearing Plants. 2018. Vol. 21 (2). P. 400–419. DOI:10.1080/0972060X.2018.1458658.
24. Anwar F., Alkharfy K. M., Najeeb U. R., Adam E. H. K., Gilani A. H. Chemo-geographical variations in the composition of volatiles and the biological attributes of *Mentha longifolia* (L.) essential oils from Saudi Arabia // International Journal of Pharmacology. 2017. Vol. 13. Iss. 5. P. 408–424. DOI: 10.3923/ijp.2017.408.424.
25. Farzaei M. H., Bahramsoltani R., Ghobadi A., Farzaei F., Najafi F. Pharmacological activity of *Mentha longifolia* and its phytoconstituents // Journal of Traditional Chinese Medicine. 2017. Vol. 37(5). P. 710–720. DOI: 10.1016/S0254-6272(17)30327-8.
26. Park Y. J., Baek S.-A., Choi Y., Kim J. K., Park S. U. Metabolic profiling of nine *Mentha* species and prediction of their antioxidant properties using chemometrics // Molecules. 2019. Vol. 24 (2). Art. No. 258. DOI: 10.3390/molecules24020258.
27. Eftekhari A., Khusro A., Ahmadian E., Dizaj S. M., Hasanzadeh A., Cucchiari M. Phytochemical and nutra-pharmaceutical attributes of *Mentha spp.*: a comprehensive review // Arabian Journal of Chemistry. 2021. Vol. 14 (5). Art. No. 103106. DOI: 10.1016/j.arabjc.2021.103106.
28. Bouyahya A., Lagrouh F., El Omari N., Bourais I., El Jemli M., Marmouzi I., Salhi N., Faouzi M. E. A., Belmehdi O., Dakka N., Bakri Y. Essential oils of *Mentha viridis* rich phenolic compounds show important antioxidant, antidiabetic, dermatoprotective, antidermatophyte and antibacterial properties // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2020. Vol. 23. Art. No. 101471. DOI: 10.1016/j.bcab.2019.101471.
29. Mishnev A. V. Creation of initial material for mint breeding with non-menthol composition of essential oil. Thesis ... Cand. Sc. (Agr.). Simferopol: Institute of Essential Oil and Medicinal Plants, 2000. P. 11–13.
30. Bugaenko L. A., Shilo N. P. Polyploidy and interspecific hybridization of mint. Simferopol: Business-inform, 2012. 296 p.
31. Bugayenko L. A. Wild-growing species of mint as carriers of genes of resistance to adverse environmental factors // Samara Journal of Science. 2015. No. 2 (11). P. 24–30.
32. Morozov A. I. Mint selection for different specific purposes // Vestnik of the Russian Agricultural Science. 2018. No. 5. P. 52–55. DOI: 10.30850/vrsn/2018/5/52-55.
33. Morozov A. I. Agrobiological bases of varietal technology of cultivation of peppermint in the Non-Chernozem zone of Russia. Thesis Abstract ... Dr. Sc. (Agr.). Moscow: State Scientific Institution “All-Russian Research Institute of Vegetable Growing of the Russian Academy of Agricultural Sciences”, 2013. 42 p.
34. Mishnev A. V., Shulga E. B., Marchenko M. P. Initial material creation for the breeding of linalool-linalil acetate mint (*Mentha* L.) under conditions of the Republic of Crimea // Ovoschevodstvo. 2015. Vol. 23. P. 100–109.
35. Shulga E. B. New varieties of mint for the Crimea and other southern regions of Russia // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2017. No.1 (9). P. 28–36.
36. Kisnichan L. P., Baranova N. V. Study of the collection of mint (*Mentha* Spp.) at the Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection of the Republic of Moldova // News of FSVS. 2020. No. 3–4. P. 92–96. DOI: 10.18619/2658-4832-2020-3-4-92-95.

37. BusinessStat market reports. Analysis of essential oils market in Russia in 2018–2022, forecast for 2023–2027. [Electronic resource]. Access point: <https://businessstat.ru/russia> (reference's date 01.08.2023).
38. Pashtetskiy V. S., Verdysch M. V., Popova A. A., Kolesnikova A. V. Analysis of essential oils markets and state of essential production in the Russian Federation // Construction economic and environmental management. 2017. No. 4 (65). P. 49–54.
39. Savchuk L. P. The climate of the foothill areas of the Crimea and essential oil crops. Simferopol: Private Enterprise “El'in'o”, 2006. 76 p.
40. State register for selection achievements admitted for usage. Vol. 1. Plant varieties (as of 02.06.2022). [Electronic resource]. Access point: <https://gossortrf.ru/publication/reestry.php> (reference's date 30.07.2023).
41. Essential oil crops breeding (guidelines) // Ed. by Arinshteyn A. I. Scientific Production Association for essential oil crops and oils. All-Union Research Institute of Aromatic Crops (VNIIEMK). Simferopol, 1977. 151 p.
42. Biochemical methods of analysis of essential oil crops and essential oils. Collection of scientific works // Compiled by Karpacheva A. N., Persidskaya K. G., Lishtvanova L. N. Scientific Production Association for essential oil crops and oils. Simferopol: All-Union Research Institute of Aromatic Crops (VNIIEMK). 1972. 107 p.
43. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2012. 352 p.
44. Field experiments methodology (technology of essential oil crops growing) // Collection of scientific works. Simferopol: All-Union Research Institute of Aromatic Crops (VNIIEMK), 1972. 149 p.
45. Lakin G. F. Biometrics. Moscow: Vysshaya shkola, 1990. 350 p.

UDC 633.81

Kashirina N. A., Mishnev A. V., Drobotova E. N., Grunina E.N., Nevkrytaya N. V.
**CHARACTERISTICS OF *MENTHA L.* SAMPLES FROM THE COLLECTION OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF AGRICULTURE OF CRIMEA BY MAIN
INDICATORS OF PRODUCTIVITY**

Summary. *To increase the efficiency of production and expand the range of essential oil products, it is necessary to create new high-yielding varieties of mint of different directions of use. The aim of the research was twofold: study Mentha L. samples from the collection of the FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea” in terms of the main indicators of productivity and then select the most promising ones for breeding work. The studies were conducted in 2019–2021 on the experimental field located in the Crimean Foothills (village of Krymskaya Roza, Belogorsky district). In the course of the current research, we studied 136 Mentha L. samples, six of which were created by the scientists of the Research Institute of Agriculture of Crimea (‘Krasnodarskaya 2’, ‘Zagrava’, ‘Udaychanka’, ‘Prilukskaya karvonnaya’, ‘Azhurnaya’, ‘Bergamotnaya’). Total area of the nursery – 260 m². The seedlings of Mentha L. samples were transplanted annually in late April. Planting scheme – 1.0×0.6 m, accounting area of the plot – 0.6 m². The highest indicators of productivity were observed in 2020, when hydrothermal conditions were the most favourable. On average, during the study period, the yield of the green mass in the collection was 85.8 ± 3.5 kg/ha with a range of variability from 23.8 ± 3.2 to 227.3 ± 33.3 kg/ha. We identified thirty-eight high-yielding samples (representing 28 % of the total number of all studied ones), the yield of which was at the level of 100 kg/ha and more. The dry leaf yield in the collection averaged 14.4 ± 0.5 kg/ha (4.2 ± 0.6 to 30.6 ± 3.4 kg/ha). We identified 28 samples (21 %) that differed from the others by high dry leaf yield – 18 kg/ha and higher. The content of essential oil in air-dried raw material varied in the collection from 0.6 ± 0.1 to 5.8 ± 0.2 % with an average value at the level of 2.8 ± 0.1 %. The high-oil-yielding group, in which mass fraction of essential oil was from 4.1 to 5.8 %, included 23 samples or 17 %. The amount of essential oil ranged from 4.2 ± 0.4 to 138.7 ± 9.3 kg/ha; average indicator – 44.4 ± 2.6 kg/ha. We identified 32 specimens (24 %) with high level of essential oil collection – from 61 kg/ha and higher. Based on the results obtained, 11 samples can be recommended for inclusion into the breeding process.*

Keywords: *mint, Mentha L., productivity indicators, economically valuable traits.*

Каширина Наталья Александровна, научный сотрудник селекционно-семеноводческого центра эфиромасличных культур отдела селекции ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: natalia.kashirina.96@mail.ru.

Мишнев Александр Васильевич, ведущий научный сотрудник отдела селекции ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: avmishnev@mail.ru.

Дроботова Елена Николаевна, научный сотрудник селекционно-семеноводческого центра эфиромасличных культур отдела семеноводства ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: elena-drobotova0345@mail.ru.

Грунина Елена Николаевна, научный сотрудник селекционно-семеноводческого центра эфиромасличных культур отдела селекции ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: elgrunina@mail.ru.

Невкрытая Наталья Владимировна, кандидат биологических наук, заведующая отделом селекции селекционно-семеноводческого центра по эфиромасличным культурам ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: nevkritaya@mail.ru.

Kashirina Natalya Aleksandrovna, researcher, Center of Essential Oil Crops Breeding and Seed Production, Department of breeding, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295043, Russia; e-mail: natalia.kashirina.96@mail.ru.

Mishnev Aleksandr Vasilievich, Cand. Sc. Agr., leading researcher, Center of Essential Oil Crops Breeding and Seed Production, Department of seed production, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: avmishnev@mail.ru.

Drobotova Elena Nikolaevna, researcher, Center of Essential Oil Crops Breeding and Seed Production, Department of seed production, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295043, Russia; e-mail: elena-drobotova0345@mail.ru.

Grunina Elena Nikolaevna, researcher, Center of Essential Oil Crops Breeding and Seed Production, Department of breeding, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295043, Russia; e-mail: elgrunina@mail.ru.

Nevkrytaya Natalya Vladimirovna, Cand. Sc. (Biol.), head of the Department of breeding, Center of Essential Oil Crops Breeding and Seed Production, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: nevkritaya@mail.ru.

Дата поступления – 28.06.2023.

Дата принятия к печати – 11.09.2023.

DOI 10.5281/zenodo.10135427

EDN UELNNB

УДК 634.75:577.2:632.4

Келдибекова М. А., Зубкова М. И.

**АНАЛИЗ СОРТОВ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ (*FRAGARIA ANANASSA DUCH.*)
ПО ГЕНАМ *Rca2* и *Rpf1* С ПРИМЕНЕНИЕМ ДНК-МАРКЕРОВ**

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур»

Реферат. Болезни земляники садовой (*Fragaria ananassa Duch.*) являются одним из ограничивающих факторов, который влияет на урожайность растений и приводит к экономическим потерям. К числу наиболее распространённых патогенов, приносящих значительный вред насаждениям, относятся антракнозная черная гниль (*Colletotrichum acutatum Simmonds*) и фитофторозное увядание (*Phytophthora fragariae Hickman*). Фенотипический отбор на устойчивость к болезням требует значительных ресурсов и времени, в то время как применение ДНК-маркеров позволяет быстро и достоверно определить наличие генетических детерминант, и сортообразцы с высокими прогнозируемыми показателями могут быть раньше вовлечены в селекцию. Цель исследований – идентификация устойчивых генотипов земляники садовой к антракнозной черной гнили и фитофторозному увяданию с применением методов молекулярного ДНК-маркирования. Объекты исследования – 32 сорта земляники садовой биоресурсной коллекции ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур» (Орловская область) отечественного и иностранного происхождения. Геномная ДНК для анализа была выделена из молодых листьев земляники методом СТАВ с модификациями Porebski для выделения ДНК из растительной ткани с высоким содержанием полисахаридов и фенольных соединений. Для идентификации генотипов, несущих гены устойчивости к антракнозной чёрной гнили (ген *Rca2*) и фитофторозной корневой гнили (ген *Rpf1*), применяли ДНК-маркеры *STS-Rca2_240* и *SCAR-RIA* соответственно. В результате проведённого скрининга сортов земляники *SCAR*-маркер *STS-Rca2_240*, тесно сцепленный с геном *Rca2* (определяет устойчивость земляники к антракнозной чёрной гнили, к расам *C. acutatum Simmonds* второй группы патогенности), был выявлен у пяти сортов: Боровицкая, Aprica, Росинка, Siria и Malwina. Маркер доминантного аллеля гена *Rpf1* (определяет устойчивость земляники к фитофторозной корневой гнили *P. fragariae Hickman*) *SCAR-RIA* не был обнаружен ни у одного из отобранных для анализа сортов. Необходимо дальнейшее проведение селекционно-генетических исследований с целью привлечения в гибридизацию идентифицированных источников целевых аллелей генов устойчивости.

Ключевые слова: земляника садовая (*Fragaria ananassa Duch.*), ДНК-маркеры, *Rca2*, *Rpf1*.

Для цитирования: Келдибекова М. А., Зубкова М. И. Анализ сортов земляники садовой (*Fragaria ananassa Duch.*) по генам *Rca2* и *Rpf1* с применением ДНК-маркеров // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3(35). С. 103–109. EDN: UELNNB. DOI: 10.5281/zenodo.10135427.

For citation: Keldibekova M. A., Zubkova M. I. Analysis of *Fragaria ananassa Duch.* cultivars by *Rca2* and *Rpf1* genes using DNA-markers // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3(35). С. 103–109. EDN: UELNNB. DOI: 10.5281/zenodo.10135427.

Введение

В настоящее время земляника садовая (*Fragaria ananassa*) является самой важной и экономически выгодной ягодной культурой в мире. На ее долю приходится свыше 70 % общемирового производства ягод [1].

Антракноз земляники (*Colletotrichum acutatum* Simmonds) – относительно недавно выявленное, но уже широко распространённое по всему миру заболевание [2]. Потери урожая достигают 80 %, а выпады растений в маточных насаждениях – 33% и более [3]. На территории Евразийского экономического сообщества с 2016 г. антракноз является карантинным заболеванием [4].

Выделено большое количество изолятов *C. acutatum*, которые разделены на две группы патогенности [5]. Согласно литературным данным, устойчивость к расам второй группы (*C. acutatum* Simmonds) носит моногенный характер и контролируется доминантным геном *Rca2* [6-7]. В настоящее время для оценки аллельного состояния гена *Rca2* используют доминантный SCAR-маркер STS-Rca2_240, локализованный на расстоянии 2,8 сМ от гена [8–13].

Фитофтороз (фитофторозное увядание) земляники вызывается двумя видами псевдогрибов рода *Phytophthora*. Первый – *Phytophthora fragariae* Hickman вызывает фитофторозную корневую гниль или так называемое «покраснение центрального цилиндра корня». Вторым – *Phytophthora cactorum* Lebert & Cohn вызывает заболевание «фитофторозная кожистая гниль» [3].

В европейских селекционных программах устойчивость к корневой гнили определяется в основном присутствием генов *Rpf1*, *Rpf2* и *Rpf3*. Ген *Rpf1* контролирует устойчивость не менее чем к 16 расам *P. fragariae* [14]. Одним из ДНК маркеров, используемых для оценки аллельного состояния гена *Rpf1*, является доминантный SCAR-R1A [15, 16]. Отечественные исследователи также использовали маркер SCAR-R1A для определения доминантного аллеля гена *Rpf1* [8,17].

Цель исследований – идентификация устойчивых генотипов земляники садовой к антракнозной черной гнили (*Rca2*) и фитофторозному увяданию (*Rpf1*) с помощью ДНК-маркеров.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2022–2023 гг. В качестве биологических объектов исследования были взяты 32 сорта земляники садовой (*F. ananassa* Duch.) различного эколого-географического происхождения из биоресурсной коллекции ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур» (Орловская область), из них 5 – отечественной селекции (Ранняя Плотная, Боровицкая, Берегиня, Росинка, Нелли) и 27 – иностранной (Asia, Extra Berry, Mieke Schindler, Aprica, Dukat, Premy, Romantica, Siria, Malwina, Sara, Gala Civ, Darselect, Marmolada, Mallig Centenary, Civ 64, Irma, Dezy, Vivaldi, Onda, Rumba, Joly, Jive, Alba, Frida, Clery, Rubino Civ, Jonsok).

Геномную ДНК для анализа выделяли из молодых листьев земляники методом СТАВ [18] с модификациями Porebski [19] для выделения ДНК из растительной ткани с высоким содержанием полисахаридов и фенольных соединений.

Аmplификацию проводили в реакционной смеси объемом 25 мкл, содержащей 1× ПЦР буфер, 100 мкМ нуклеотидов, 0,1 мкМ прямого праймера, 0,1 мкМ обратного праймера, 1 ед. Taq ДНК-полимеразы (набор реактивов для ПЦР с Taq-полимеразой HotStart производства «Диаэм») и 100 нг ДНК в амплификаторе T100 (BioRad). Протокол амплификации для SSR маркера контроля выделения ДНК EMFv020 и маркера STS-Rca2_240: начальная денатурация при 95 °С – 3 мин, 40 циклов: 95 °С – 50 с, 64 °С – 50 с, 72 °С – 1 мин, финальная элонгация при 72 °С – 5 мин. Протокол амплификации для маркера SCAR-R1A: начальная денатурация – 95 °С – 3 мин, 35 циклов, 95 °С – 30 с, 60 °С – 45 с, 72 °С – 1 мин, финальная элонгация, 72 °С – 7 мин.

Нуклеотидные последовательности праймеров:

1. STS-Rca2_240 For: 5'-GCC ACG TCA CTA GTC AAA TTC AA-3'

STS-Rca2_240 Rev: 5'-TCA TGG ACA GTG GTC TCA GC-3'

2. SCAR-R1A For: 5'-TGC ATC ATT AAT GTA GAA GTC TTT-3'
 SCAR-R1A Rev: 5'-TGA TGC GAC ATA CAA AAA TAT TAG-3'
 3. EMFv020 For: 5'-CAG GCG CCA ACG GCG TGC TCT TGT-3'
 EMFv020 Rev: 5'- CAG CGC CGC CAG CTC ATC CCT AGG-3'

Разделение продуктов амплификации проводили в 1,0 % агарозном геле в 1× TBE буфере. Размер образовавшихся ПЦР продуктов определяли визуально, сопоставляя с маркером молекулярного веса ДНК Step50Long (Биолабмикс).

Результаты и их обсуждение

Для контроля пригодности выделенной ДНК для анализа все образцы проверены методом ПЦР с праймерами SSR маркера EMFv020 [20]. Ожидаемый размер продукта при амплификации – около 170 п.н., результаты электрофореза представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Электрофоретический профиль маркера EMFv020 сортов земляники садовой

Примечание. М – маркер молекулярного веса ДНК Step50Long (Биолабмикс), 1 – Elianny, 2 – Asia, 3 – Ранняя Плотная, 4 – Dukat, 5 – Romantica, 6 – Premy, 7 – Joly, 8 – Aprica, 9 – Sara, 10 – Gala Civ, 11 – Darselect, 12 – Siria, 13 – Marmolada, 14 – Malwina.

У всех сортов в генотипе идентифицирован целевой продукт маркера EMFv020 (размер ≈170 п.н.), что свидетельствует о пригодности ДНК для дальнейшего анализа.

В качестве положительного контроля при проведении анализа на присутствие маркера STS-Rca2_240 был выбран сорт Elianny в соответствии с литературными данными [8] (рисунок 2).

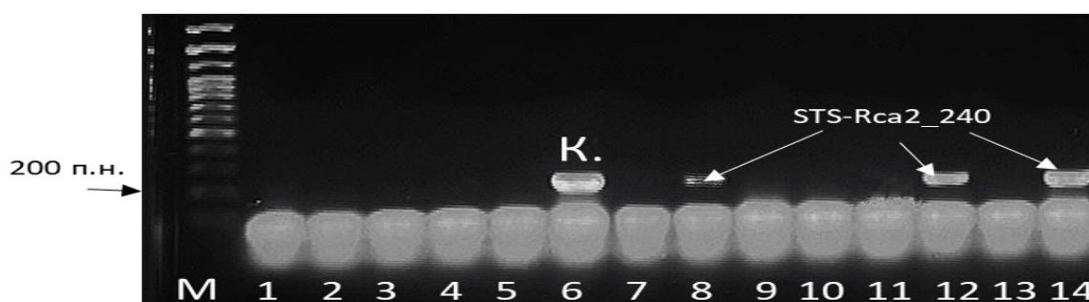


Рисунок 2 – Электрофоретический профиль маркера STS-Rca2_240 сортов земляники садовой

Примечание. М – маркер молекулярного веса ДНК Step50Long (Биолабмикс), 1 – Asia, 2 – Ранняя Плотная, 3 – Dukat, 4 – Romantica, 5 – Premy, 6 – Elianny(к), 7 – Vivaldi, 8 – Aprica, 9 – Sara, 10 – Gala Civ, 11 – Darselect, 12 – Siria, 13 – Marmolada, 14 – Malwina.

В анализируемой коллекции сортов земляники SCAR-маркер STS-Rca2_240 (целевой продукт 240 п.н.), ассоциированный с устойчивостью к антракнозной гнили (к расам *S. acutatum* Simmonds второй группы патогенности), был выявлен у пяти

генотипов: Боровицкая, Aprica, Siria, Malwina, Росинка, данные анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты анализа сортов земляники по маркеру STS-Rca2_240

Присутствие маркера STS-Rca2_240	Количество сортов	Сорт, генотип
+	5	Боровицкая, Aprica, Siria, Malwina, Росинка, Elianny(к)
–	27	Ранняя Плотная, Dukat, Romantica, Extra Berry, Mieke Schindler, Premy, Joly, Sara, Gala Civ, Darselect, Marmolada, Malling Centenary, Civ 64, Irma, Dezy, Vivaldi, Asia, Onda, Нелли, Rumba, Jive, Alba, Frida, Clery, Rubino Civ, Jonsok, Берегиня

В качестве положительного контроля при скрининге 32 сортов земляники из биоресурсной коллекции ВНИИСПК на наличие маркера SCAR-R1A (целевой продукт 285 п.н.) использовали ДНК выделенного генотипа 11(12) из гибридной семьи Ранняя Плотная × Говоровская, уже успешно протестированного в предыдущих исследованиях (неопубликованные данные) (рисунок 3).

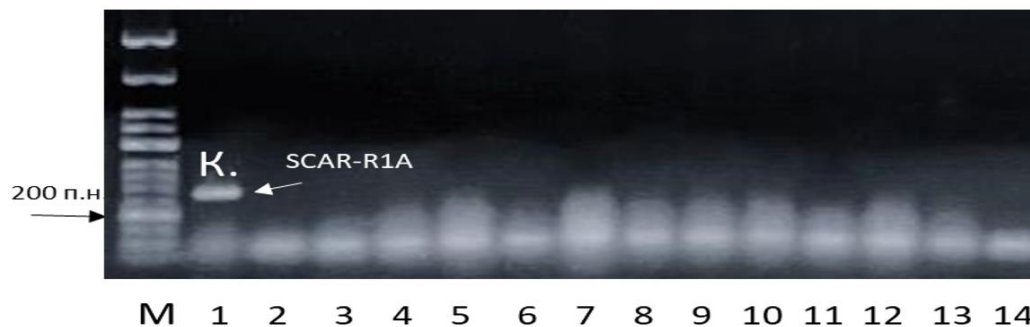


Рисунок 3 – Электрофоретический профиль маркера SCAR-R1A сортов земляники садовой

Примечание. М – маркер молекулярного веса ДНК Step50Long (Биолабмикс), 1 – 11(12) (к), 2 – Asia, 3 – Ранняя Плотная, 4 – Dukat, 5 – Romantica, 6 – Premy, 7 – Joly, 8 – Aprica, 9 – Sara, 10 – Gala Civ, 11 – Darselect, 12 – Siria, 13 – Marmolada, 14 – Malwina.

Маркер SCAR-R1A, ассоциированный с устойчивостью к фитофторозной корневой гнили, не был обнаружен ни у одного из проанализированных сортов.

Маркер STS-Rca2_240 широко применяется для идентификации генотипов, несущих ген устойчивости к антракнозной чёрной гнили (*Rca2*), как в России, так и за рубежом. ДНК-скрининг на наличие маркера Rca2_240 для четырех зарубежных сортов (Aprica, Asia, Joly, Rumba) и одного отечественного сорта (Боровицкая) был ранее проведен и другими отечественными исследователями [11, 17], результаты совпали с нашими данными. Всего, по публикациям российского ученого А. С. Лыжина с соавторами, маркерный фрагмент гена *Rca2* был идентифицирован у шести зарубежных сортов и у двух отечественных [7, 11, 17]. При анализе И. Э. Храбровым 135 сортов земляники садовой коллекции ВИР маркер Rca2_240 был выявлен у 22 сортов, три из них – селекции Майкопской опытной станции [9].

По данным зарубежных исследователей, в частности, E. Lerceteau-Köhler с соавторами [6], диагностический фрагмент маркера STS-Rca2_240 был выявлен у 13 из 43 сортов, а в исследованиях W. Njuguna [21] из проанализированных 112 сортов

маркер обнаружен только у 36. М. Sturzeanu с соавторами [22] проанализировала шесть сортов, наличие маркера STS-Rca2_240 было выявлено только у одного сорта Benton.

Маркер SCAR-R1 широко используется для идентификации генотипов с детерминированной устойчивостью к фитофторозной корневой гнили (*Rpf1*). Отечественные исследователи (А. С. Лыжин с соавторами) провели анализ 48 генотипов земляники, диагностический фрагмент маркера был детектирован лишь у одного сорта Былинная [8,17]. По данным W. Njuguna [21], маркерный фрагмент гена *Rpf1* выявлен у 22 из 158 исследуемых сортов. К. М. Наумес с соавторами [16] провел ДНК-скрининг 133 сортов, маркер SCAR-R1A присутствовал только у 24 образцов. М. Sturzeanu с соавторами [22] выявила диагностический фрагмент 285 п.н. у трех сортов из шести анализируемых.

Обзор данных отечественных и иностранных исследователей показал, что диагностические фрагменты маркеров STS-Rca2_240 и SCAR-R1A в генотипах современных сортов земляники встречаются довольно редко. Необходимо дальнейшее проведение селекционно-генетических исследований с целью привлечения в гибридизацию идентифицированных источников целевых аллелей генов устойчивости.

Выводы

Таким образом, в результате проведённого ДНК-анализа сортов земляники из биоресурсной коллекции ВНИИСПК, SCAR-маркер STS-Rca2_240, тесно сцепленный с геном *Rca2*, определяющим устойчивость земляники к антракнозной чёрной гнили к расам *C. acutatum* Simmonds второй группы патогенности, был выявлен у пяти сортов: Боровицкая, Aprica, Росинка, Siria, Malwina. Маркер доминантного аллеля гена *Rpf1* (определяет устойчивость земляники к фитофторозной корневой гнили *P. fragariae* Hickman) SCAR-R1A не был обнаружен ни у одного из отобранных для анализа сортов земляники. Выделенные нами сорта с генетически детерминированной устойчивостью к антракнозной чёрной гнили (*Rca2*) являются ценными и перспективными для вовлечения в селекцию на комплексную устойчивость к грибным заболеваниям.

Литература/References

1. Liu J., Wang J., Wang M., Zhao J., Zheng Y., Zhang T., Xue L., Lei J. Genome-wide analysis of the R2R3-MYB gene family in *Fragaria × ananassa* and its function identification during anthocyanins biosynthesis in pink-flowered strawberry // Front Plant Sci. 2021. Vol. 30. No. 12. Art. No. 702160. DOI: 10.3389/fpls.2021.702160.
2. MacKenzie S. J., Seijo T. E., Legard, D. E., Timmer L. W., Peres N. A. Selection for pathogenicity to strawberry in populations of *Colletotrichum gloeosporioides* from native plants // Phytopathology. 2007. Vol. 97. No. 9. P. 1130–1140. DOI: 10.1094/PHYTO-97-9-1130.
3. Говорова Г. Ф., Говоров Д. Н. Земляника и клубника: монография. М: Проспект, 2015. 360 с. [Govorova G.F., Govorov D.N. Wild strawberry and strawberry. Monograph. Moscow: Prospect, 2015. 360 p.].
4. Цветкова, Ю. В., Кузнецова А. А. Классические и современные методы диагностики грибов рода *Colletotrichum* на землянике садовой // Фитосанитария. Карантин растений. 2020. №1(1). С. 34–42 [Tsvetkova Y. U. Kuznetsova A. A. Conventional and modern methods for the diagnosis of *Colletotrichum* fungi on garden strawberry *Fragaria ananassa* // Plant Health and Quarantine. 2020. No. 1(1). P. 34–42].
5. Denoyes B., Baudry A. Species identification and pathogenicity study of French *Colletotrichum* strains isolated from strawberry using morphological and cultural characteristics // Phytopathology. 1995. Vol. 85. No.1. P. 53–57. DOI: 10.1094/PHYTO-85-53.
6. Demoyes-Rothanet B., Lerceteau-Köhler E., Guerin G., Bosseur S., Bariac J., Martin E., Roudeillac P. QTL analysis for resistance to *Colletotrichum acutatum* and *Phytophthora cactorum* in octoploid strawberry (*Fragaria × ananassa*) // Acta Horticulturae. 2004. No. 663. P. 147–152. DOI: 10.17660/ActaHortic.2004.663.19.
7. Lerceteau-Köhler E., Guérin G., Denoyes-Rothan B. Identification of SCAR markers linked to *Rca2* anthracnose resistance gene and their assessment in strawberry germplasm // Theoretical and Applied Genetics. 2005. Vol. 111. No. 5. P. 862–870. DOI: 10.1007/s00122-005-0008-1.
8. Luk'yanchuk I. V., Lyzhin A. S., Kozlova I. I. Analysis of strawberry genetic collection (*Fragaria* L.) for *Rca2* and *Rpf1* genes with molecular markers // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018. Vol. 22. No.7. P. 795–799. DOI: 10.18699/VJ18.423.

9. Лыжин А. С., Лукьянчук И. В., Жбанова Е. В. Полиморфизм сортов земляники (*Fragaria × ananassa*) по гену устойчивости к антракнозу *Rca2* // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. № 180(1). С. 73–77. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-73-77. [Lyzhin A. S., Luk'yanchuk I. V., Zhanova E. V. Polymorphism of the *Rca2* anthracnose resistance gene in strawberry cultivars (*Fragaria × ananassa*) // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2019. No.180(1). P. 73–77. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-73-77].
10. Храбров И. Э., Антонова А.Ю., Шаповалов М. И., Семёнова Л. Г. Молекулярный скрининг сортовой коллекции земляники ВИР на наличие маркера гена устойчивости к антракнозной черной гнили *Rca2* // Биотехнология и селекция растений. 2021. Т. 4. №4. С.15–24. DOI: 10.30901/2658-6266-2021-4-о3. [Khrabrov I. E., Antonova O. Yu., Shapovalov M. I., Semenova L. G. Molecular screening of the VIR strawberry varieties collection for the presence of a marker for the anthracnose black rot resistance gene *Rca2* // Plant Biotechnology and Breeding. 2021. Vol. 4. No. 4. P. 15–24. DOI: 10.30901/2658-6266-2021-4-о3].
11. Lyzhin A., Luk'yanchuk I. Assessment of strawberry varieties by anthracnose resistance gene // BIO Web of Conferences: International Scientific Conference “Biologization of the Intensification Processes in Horticulture and Viticulture” (BIOLOGIZATION 2021). 2021. Vol. 34. Art. No. 02007. DOI: 10.1051/bioconf/20213402007.
12. Лыжин А. С., Лукьянчук И. В. Анализ сортов земляники отечественной селекции по гену *Rca2* устойчивости к антракнозу // Наука и Образование. 2022. Т. 5. № 1. Порядковый номер: 101. [Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V. Analysis of strawberry varieties of Russian selection by *Rca2* anthracnose resistance gene // Science and Education. 2022. Vol. 5. No. 1. Art.No. 101].
13. Безлепкина Е. В., Зубкова М. И., Должикова М. А., Павленко А. А. Использование ДНК-маркеров устойчивости земляники к антракнозной черной гнили и фитофторозной корневой гнили. Методические рекомендации. Орел, 2022. 20 с. [Bezlepkin E. V., Zubkova M. I., Dolzhikova M. A., Pavlenko A. A. The use of DNA markers of resistance of strawberry to anthracnose black rot and Phytophthora root rot. Methodological recommendations. Orel, 2022. 20 p.]
14. Sasnauskas A., Rugienius R., Gelvonauskienė D., Zalunskaitė I., Stanien, G., Siksnianas T., Stanys V., Bobinas C. Screening of strawberries with the red stele (*Phytophthora fragariae*) resistance gene *Rpf1* using sequence specific DNA markers // Acta Horticulturae. 2007. Vol. 760. No.1. P.165–169. DOI: 10.17660/ActaHortic.2007.760.21.
15. Haymes K. M. Molecular genetic studies in *Fragaria* species: *Agrobacterium*-mediated transformation and fine mapping of the *Phytophthora fragariae* resistance gene *Rpf1*. Ph.D. Thesis. Wageningen Agricultural University, 1997. P. 47–58.
16. Haymes K. M., Van de Weg W. E., Arens P., Maas J.L., Vosman B., Den Nijs A.P.M. Development of SCAR markers linked to a *Phytophthora fragariae* resistance gene and their assessment in European and North American strawberry genotypes // J. Amer. Soc. Hort. Sci. 2000. Vol. 125. No. 3. P. 330–339. DOI: 10.21273/JASHS.125.3.330.
17. Лыжин А. С., Лукьянчук И. В. Анализ полиморфизма генотипов земляники (*Fragaria* L.) по гену устойчивости к фитофторозной корневой гнили *Rpf1* для идентификации перспективных для селекции и садоводства форм // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. 2020. Т. 58. № 3. С. 311–320. DOI: 10.29235/1817-7204-2020-58-3-311-320. [Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V. Analysis of polymorphism of strawberry genotypes (*Fragaria* L.) according to the strawberry red root spot resistance gene *Rpf1* for identification of strawberry forms promising for breeding and horticulture // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series. 2020. Vol. 58. No. 3. P. 311–320. DOI:10.29235/1817-7204-2020-58-3-311-320].
18. Doyle J. J., Doyle J. L. Isolation of plant DNA from fresh tissue // Focus.1990. No.12. P. 13–15.
19. Porebski S., Bailey L.G., Baum B.R. Modification of a CTAB DNA extraction protocol for plants containing high polysaccharide and polyphenol components // Plant Molecular Biology Reporter. 1997. Vol. 15. No.1. P. 8–15. DOI: 10.1007/BF02772108.
20. Hadonou A. M., Sargent D. J., Wilson F., James C. M., Simpson D. W. Development of microsatellite markers in *Fragaria*, their use in genetic diversity analysis, and their potential for genetic linkage mapping // Genome. 2004. No. 47. P. 429-438. DOI: 10.1139/g03-142.
21. Njuguna W. Development and use of molecular tools in *Fragaria*. Ph.D. Thesis. Oregon State University, 2010. 370 p.
22. Sturzeanu M., Coman M., Ciuca M., Ancu I., Cristina D., Turcu A.G. Molecular characterization of allelic status of the *Rpf1* and *Rca2* genes in six cultivars of strawberries // Acta Hort. 2016. No. 1139. P. 107–112. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1139.19.

UDC 634.75:577.2:632.4

Keldibekova M. A, Zubkova M. I.

ANALYSIS OF *FRAGARIA ANANASSA* DUCH. CULTIVARS BY *RCA2* AND *RPF1* GENES USING DNA MARKERS

Summary. Strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) diseases are one of the limiting factors that seriously affect the yield of plants and lead to economic losses. Anthracnose black rot (*Colletotrichum acutatum*) and late blight (*Phytophthora fragariae* Hickman) are among the most common pathogens that cause significant damage to plantings. Phenotypic selection for disease resistance requires considerable resources and time, while the use of DNA markers makes it possible to determine the presence of genetic determinants quickly and reliably, and genotypes with high predicted indicators can be involved in breeding earlier. The aim of the research was to identify resistant strawberry genotypes to anthracnose black rot and late blight with the use of molecular DNA marker methods. The objects of the study were 32 strawberry cultivars of domestic and foreign origin from the bioresource collection of Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPК) (Orel region). Genomic DNA for analysis was isolated from young strawberry leaves by CTAB protocol with Porebski modifications to isolate DNA from plant tissue with a high content of polysaccharides and phenolic compounds. DNA markers STS-Rca2_240 and SCAR-RIA were used to identify genotypes carrying genes of resistance to anthracnose black rot (*Rca2*) and late blight root rot (*Rpf1*), respectively. As a result of the screening of strawberry cultivars, the SCAR marker STS-Rca2_240, closely linked to the *Rca2* gene (which determines the resistance of strawberries to anthracnose black rot, to *Colletotrichum acutatum* Simmonds races of the 2nd pathogenicity group), was detected in five cultivars: 'Borovitskaya', 'Aprica', 'Rosinka', 'Siria' and 'Malwina'. The marker of the dominant allele of the *Rpf1* gene (which determines the resistance of strawberries to late blight root rot *Phytophthora fragariae* Hickman) SCAR-RIA was not found in any of the cultivars selected for analysis. It is necessary to carry out further breeding and genetic studies to involve identified sources of target alleles of resistance genes into hybridization.

Keywords: *Fragaria ananassa* Duch., DNA markers, *Rca2*, *Rpf1*.

Келдибекова Маргарита Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории геномного редактирования ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур»; 302530, Россия, Орловская область, Орловский район, д. Жилина, 1; e-mail: margarita-aleksa@bk.ru.

Зубкова Марина Ивановна, научный сотрудник лаборатории селекции и сортоизучения крыжовника, малины и земляники ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур»; 302530, Россия, Орловская область, Орловский район, д. Жилина, 1; e-mail: zubkova@orel.vniispk.ru.

Keldibekova Margarita Aleksandrovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Genomic Editing Laboratory of the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding; 1, Zhilina vill., Orel district, Orel region, 302530, Russia; e-mail: margarita-aleksa@bk.ru.

Zubkova Marina Ivanovna, researcher of the Laboratory of breeding and variety study of gooseberries, raspberry and strawberries of the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding; 1, Zhilina vill., Orel district, Orel region, 302530, Russia; e-mail: zubkova@orel.vniispk.ru.

Дата поступления в редакцию – 20.08.2023.

Дата принятия к печати – 21.09.2023.

DOI 10.5281/zenodo.10141264

EDN NGEWCB

УДК 633.321

Корелина В. А., Батакова О. Б., Зобнина И. В.

ИЗУЧЕНИЕ И ОЦЕНКА ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук»

Реферат. Создание и сохранение селекционно-генетического разнообразия исходного материала клевера лугового и его целенаправленное использование в селекционном процессе является основой для создания пластичных сортов, устойчивых к стрессовым факторам. Цель исследований – выделение перспективных в условиях Европейского Севера РФ сортообразцов клевера лугового по комплексу хозяйственно полезных признаков для дальнейшего использования в селекционной работе. Оценка 85 сортообразцов клевера лугового проведена в 2020–2022 гг. в ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук. Из них по кормовой продуктивности выделилось 16 сортообразцов, которые и были более подробно проанализированы по основным хозяйственным и биологическим признакам. Изучали наличие яровых и озимых форм, зимостойкость, сроки вегетационного периода на укосную массу, высоту растений, длину стеблей, количество головок на растении, облиственность, кормовую и семенную продуктивности. Стандарт – среднеранний диплоидный сорт Нива. Выделены источники хозяйственно полезных признаков: по зимостойкости – К-1702 и К-31351 (99–100 % при первой перезимовке и 75–78 % при второй), по раннеспелости – К-1702, Вjeseele, К-1808, К-1548, К-47421, К-48712, по урожайности зеленой массы – К-1546, СД-326, К-1703, К-1808, К-44964, К-49010 (743–897 г/раст.), по семенной продуктивности – К-1702, К-1546, СД-326, К-1703, К-1808, К-283/64 (13,1–17,3 г/раст.). Установлена сопряженность между отдельными хозяйственными и морфологическими признаками. Средние корреляционные связи выявлены между кормовой продуктивностью и длиной стеблей на растении ($r = 0,41$ на второй год жизни и $r = 0,61$ на третий год жизни) и их количеством ($r = 0,58$ и $r = 0,53$ соответственно по годам жизни). Высокая зависимость обнаружена между семенной продуктивностью и количеством головок во второй год жизни ($r = 0,80$) и средняя – в третий год жизни ($r = 0,59$). Выделенные образцы будут использованы в дальнейшей селекционной работе с клевером луговым.

Ключевые слова: селекция, *Trifolium pratense* L., сортообразцы, зимостойкость, кормовая и семенная продуктивность, вегетационный период, стебли, головки, завязываемость семян, обсеменённость соцветий.

Для цитирования: Корелина В. А., Батакова О.Б., Зобнина И. В. Изучение и оценка исходного материала клевера лугового // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3(35). С. 110–119. EDN: NGEWCB. DOI: 10.5281/zenodo.10141264.

For citation: Korelina V. A., Batakova O. B., Zobnina I. V. Study and evaluation of the source material of meadow clover // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3 (35). P. 110–119. EDN NGEWCB. DOI: 10.5281/zenodo.10141264.

Введение

В системе кормопроизводства приоритетное место принадлежит использованию наиболее продуктивных для данной местности культур и сортов, что делает актуальной направленную селекцию кормовых культур с учетом экологических условий [1–3].

Среди многолетних трав, возделываемых в Северном регионе Российской Федерации, ведущая роль принадлежит клеверу луговому (*Trifolium pratense* L.). Посевы этой культуры в Архангельской области занимают до половины площадей, отведённых под многолетние травы. В условиях сурового климата особую ценность представляют сорта клевера лугового, созданные непосредственно в местах их возделывания, и обладающие, наряду с кормовыми достоинствами, высокой семенной продуктивностью [4]. Многие авторы отмечают, что в настоящее время генетический потенциал сортов, допущенных к использованию, реализуется на производстве не в полной мере. Основная причина этого – недостаточный уровень адаптивности районированного сортимента, который выступает в качестве решающего фактора реализации потенциальной продуктивности в нерегулируемых условиях среды [5–7]. Именно генетическое разнообразие и собственно генетические ресурсы представляют наибольшую ценность для развития различных отраслей промышленности [8, 9]. Практически невозможно встретить готовые формы многолетних трав, сочетающих комплекс хозяйственно полезных свойств, способный удовлетворить потребности сельхозпроизводства [10, 11].

Сроки вегетационного периода в условиях севера в сильной степени влияют на семенную продуктивность, так как позднеспелые сорта не в полной мере вызревают в неблагоприятные по погодным условиям годы. Для условий Северного региона важное значение имеет создание сортов клевера лугового с коротким вегетационным периодом. Сорта клевера позднеспелого типа дают возможность сформировать один полноценный укос зеленой массы. Необходимо отметить определённые сложности в получении семян у позднеспелых сортов. Уборка семенников культуры приходится на конец августа–начало сентября, когда преобладают дождливые дни. Поэтому в нашей селекционной работе одной из задач является создание сортов клевера с более коротким вегетационным периодом. Раннеспелые зимостойкие сорта клевера представляют большую экономическую значимость как для северных регионов, так и в целом для клеверосеющей зоны России. Ряд исследователей отмечают, что «облиственность растений является очень важным хозяйственно ценным признаком и оказывает большое влияние на кормовую ценность травостоя, а в листьях и соцветиях содержится больше питательных веществ, чем в стеблях, поэтому они повышают питательность корма» [12, 13]. Создаваемые сорта клевера лугового должны иметь не только высокую кормовую продуктивность, но и быть урожайными по семенам для их быстрого размножения и поддержания в производстве [14]. Основное внимание в нашей селекционной работе направлено на поиск зимостойких образцов, обладающих высокой урожайностью семян, кормовой массы и раннеспелостью. Урожайность зеленой массы – это комплексный показатель, который зависит от многих признаков: высоты растения, кустистости, облиственности. Семенная продуктивность контролируется количеством соцветий, числом плодов. По этим всем признакам мы ведем селекционную работу.

Цель исследований – выделение перспективных в условиях Европейского Севера РФ сортообразцов клевера лугового по комплексу хозяйственно полезных признаков для дальнейшего использования в селекционной работе.

Материал и методы исследований

Полевые и лабораторные опыты проводили в 2020–2022 гг. на базе опытной станции «Котласская», которая расположена на юго-востоке Архангельской области. Данный район входит в четвертый сельскохозяйственный район области, где наиболее благоприятные агроклиматические условия для производства сельскохозяйственной продукции. Данные метеорологических условий предоставлены ФГБУ «Северное УГМС» по Курцевской агрометеостанции. Сумма активных температур (выше 10 °С) в

данном районе по многолетним данным составляет 1700–1850 °С, годовое количество осадков – 470–620 мм, средняя продолжительность безморозного периода 127 дней. Для условий Архангельской области среднее значение гидротермического коэффициента составляет от 1,5 до 2,5 [15]. Метеорологические условия вегетационных периодов в годы проведения исследований по температурному режиму и влагообеспеченности были благоприятными для развития клевера. Гидротермический коэффициент вегетационного периода 2020 и 2021 гг. составил 1,2, а 2022 г. – 1,3.

Почва опытных участков слабо-подзолистая глинистая, среднеокультуренная на пермских глинах, с содержанием гумуса 4,05 %, P_2O_5 – 28,2 мг на 100 г почвы, K_2O – 35,4 мг на 100 г почвы, рН – 6,2, гидролитическая кислотность – 0,45 мг-экв, сумма поглощенных оснований – 18,83 мг-экв, степень насыщенности основаниями – 97,5 %. Определение агрохимических показателей почвенных образцов проводили в аккредитованной лаборатории ФГУ САС «Архангельская» на поточной линии «Модернизированный Медиган», ИК-анализаторе, иономере ЭВ-74 и др. При анализе почв использовали: ГОСТ 26207-91 «Определение подвижных форм фосфора и калия по методу Кирсанова», ГОСТ 26212-91 «Определение гидролитической кислотности по методу Каппена», ГОСТ 27821-88 «Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена», ГОСТ 26213-91 «Определение органического вещества по методу Тюрина», ГОСТ 26483-85 «Определение рН по методу ЦИНАО».

Для решения поставленных задач нами проведена оценка 85 сортообразцов клевера лугового (*Trifolium pratense* L.). По кормовой продуктивности выделилось 16 образцов, которые более подробно проанализированы по основным морфологическим и хозяйственным признакам. В исследованиях использован семенной материал из коллекционных фондов Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), один образец из Норвегии, а также образцы собственной селекции.

Выполнение экспериментальных исследований проводили в соответствии с общепринятыми методиками [16–18]. Опыт размещен в селекционном севообороте, предшественник – вико-овсяная смесь, после его уборки поле обработали против сорняков препаратом «Торнадо» в дозе 5 л/га. Перед посевом внесены минеральные удобрения (NPK 16:16:16), из расчета 40 кг/га д.в. Посев питомника проведен во второй декаде мая. Защитные мероприятия против болезней и вредителей не проводили. В коллекционном питомнике с индивидуальным стоянием растений семена высевали на расстоянии 70 × 30 см (гнездовой способ), на делянках 21 м², по 100 растений на делянке. Сортообразцы размещены без повторений, стандарт высеян через 10 номеров. Оценка изучаемого материала проводили по основным хозяйственным и биологическим признакам, наличию яровых и озимых форм, зимостойкости, продолжительность вегетационного периода от весеннего отрастания до получения укосной массы, высоте растений, длине стеблей, количеству головок на растении, облиственности, кормовой и семенной продуктивности. Стандарт – среднеранний диплоидный сорт Нива.

Математическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [19] и на IBM PC с использованием пакета компьютерных программ AGROS v. 2.07 и программы STATGRAPHICS for Windows v. 5.1.

Результаты и их обсуждение

Оценка изучаемых образцов в коллекционном питомнике в 2020 г. позволила выделить перспективные образцы во второй и третий года жизни по некоторым хозяйственно ценным признакам.

Установлено, что в первый год жизни популяции клевера различались по темпу развития и наличию яровых и озимых форм. Средняя высота растений была незначительная и составила 34,0 см, поэтому учет растений по продуктивности зеленой массы не проводили. Два образца – К-283/64 и К-1703 по высоте растений в большей степени, чем другие образцы превосходили стандарт (на 9,8 и 13,9 см соответственно) и среднюю высоту растений по опыту. Кустистость растений в первый год жизни в среднем по опыту составила 14,2, а по образцам варьировала от 8,0 до 19,2 штук на растение. Коллекционные образцы в большей степени развивали озимые формы, побеги которых не закончили весь цикл своего развития до конца вегетационного периода, но восемь популяций имели яровые формы. Наибольшее количество яровых форм (12,3–17,5 %) имели образцы – К-48712, К-283/64, К-49010 (таблица 1).

В условиях Северного региона признак зимостойкости является основополагающим [20]. Недостаток тепла, большое наличие кислых почв и в определенные периоды их чрезмерная увлажненность предопределяет необходимость создания зимостойких, адаптированных к условиям севера сортов. По первой перезимовке клеверов наивысшую зимостойкость по отношению к стандартному сорту Нива (97 %) показали четыре образца – К-1702, К-31351, К-1546, К-1808 – 99 – 100 %. По второй перезимовке среди этих образцов подтвердили высокую устойчивость по данному признаку в сравнении со стандартом (74 %) два образца – К-1702 (75 %) и К-31351 (78 %). Оценка растений в питомнике по данному признаку в среднем показала их сохранность по первой перезимовке на 87 % и по второй на 65 % (таблица 2). Необходимо отметить, что образцы К-283/64, К-48712, К-49010, имеющие в своем составе наибольший процент яровых форм (12,3–17,5 %), показали более низкую зимостойкость – на 10–12 %, в сравнении со стандартом и другими исследуемыми образцами.

Таблица 1 – Оценка сортообразцов клевера лугового по основным морфологическим признакам в коллекционном питомнике в первый год жизни (2020 г.)

Сортообразец	Высота растения, см	Количество стеблей на растении, шт.	Доля яровых растений, %
Нива (St.)	30,4	14,2	0,0
К-1844	34,6	14,8	0,0
К-1702	38,5	12,0	0,0
Vjeseele	27,6	15,5	0,0
К-1548	32,0	15,4	0,0
К-1546	33,5	14,4	0,0
СД-326	37,5	12,7	2,8
К-1703	44,3	9,3	5,4
К-1808	29,0	18,2	0,0
К-283/64	40,2	8,0	13,2
К-31351	30,1	17,8	0,0
К-35349	31,2	14,6	4,5
К-44964	33,6	11,7	9,1
К-47421	36,4	13,4	8,6
К-48712	26,5	19,2	12,3
К-49010	28,3	15,7	17,5
Среднее	34,0	14,2	4,6
Вариабельность признака	26,5–44,3	8,0–19,2	0–17,5
НСР ₀₅	4,98	3,01	5,83

Таблица 2 – Характеристика лучших сортообразцов клевера лугового по основным селектируемым признакам

Сортообразец	Зимостойкость, %		Длина стебля в укосную спелость, см		Количество стеблей на растении, шт.		Вегетационный период (отрастание – начало цветения), сут.	
	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.
Нива (St.)	97	74	68	60	48	34	63	62
К-1844	94	68	68	60	51	38	65	63
К-1702	100	75	71	65	55	35	60	58
Vjeseele	89	65	65	58	42	32	60	58
К-1548	95	66	70	62	48	31	60	58
К-1546	100	72	72	64	45	37	62	60
СД-326	90	55	68	63	50	39	62	60
К-1703	89	64	73	70	55	42	66	66
К-1808	100	58	71	65	43	29	58	58
К-283/64	87	74	69	60	41	27	63	65
К-31351	99	78	70	63	47	34	63	62
К-35349	90	68	70	65	46	29	62	60
К-44964	88	54	75	70	54	28	63	60
К-47421	85	60	73	64	40	31	60	60
К-48712	87	44	68	61	45	33	60	58
К-49010	85	69	66	62	45	33	62	58
Среднее	87	65	70	63	47	33	62	60
Вариабельность признака	85–100	44–78	65–75	58–70	41–55	27–42	58–66	58–66
НСР ₀₅			2,66	3,36	4,78	4,20		

Важным признаком, влияющим на кормовую и семенную продуктивность клевера, является мощность растения. Для ее определения провели оценку популяций по длине и количеству стеблей на растении в фазе «начало цветения» при индивидуальном стоянии. Длина стеблей варьировала по отдельным образцам от 65 до 75 см во второй год жизни и от 58 до 70 см в третий год жизни растений. По средним показателям выделились образцы К-1702 (71 и 65 см), К-1703 (73 и 70 см), К-1808 (71 и 65 см), К-44964 (75 и 70 см). Наиболее низкорослыми по обоим годам изучения были два образца – Vjeseele (65 и 58 см) и К-49010 (66 и 62 см). По показателям кустистости растений превосходили стандарт и среднее по опыту образцы К-1844, К-1702, СД-326, К-1703; значения данного признака по второму году жизни составили 50–55 шт./раст., по третьему году жизни – 35–42 шт./раст. В итоге, мощность растений у всех образцов без исключения на третий год жизни значительно снижалась.

При оценке на скороспелость выявлено, что наиболее раннеспелыми были К-1702, Vjeseele, К-1548, К-47421, К-48712 (вегетационный период 58–60 дней), которые зацвели раньше других и стандарта на 3–5 дней. Вариабельность признака как по второму году жизни, так и по третьему составили 58–66 дней, больших различий по сортам не наблюдали.

Урожайность является основным показателем адаптивности сортономеров. Все изучаемые нами признаки: зимостойкость, высота, кустистость, вегетационный период растений сопряжены с кормовой и семенной продуктивностью клевера. Исследования показали, что достоверно в сравнении со стандартом Нива по кормовой продуктивности выделилось шесть образцов: К-1546, СД-326, К-1703, К-1808, К-44964, К-49010 (743–897 г/раст.), но наибольшую продуктивность показали три образца – СД-326, К-1703,

К-44964, с урожайностью зеленой массы 1020–1078 г/раст. Эти же образцы показали высокую продуктивность и по третьему году жизни – 690–733 г/раст. Облиственность образцов во второй год жизни варьировала от 43,9 до 56,2 %, в третий – от 32,5 до 45,6 %. Наивысшие значения по данному признаку показали К-1702, К-1548, К-1546, К-44964, К-49010 – от 53,5 до 56,2 % по второму году жизни и от 41,3 до 44,0 % по третьему году жизни (таблица 3).

Таблица 3 – Оценка сортообразцов клевера лугового по кормовой продуктивности и облиственности

Сортообразец	Урожайность зеленой массы, г/раст.				Облиственность, %	
	2021 г.	2022 г.	среднее	отклонение от стандарта	2021 г.	2022 г.
Нива (St.)	744	440	592	-	49,7	35,8
К-1844	858	543	700	108	49,0	32,5
К-1702	920	479	700	108	54,2	43,9
Vjeseele	752	399	575	-17	49,5	43,8
К-1548	925	478	701	109	56,2	41,5
К-1546	942	583	762	170	49,0	41,3
СД-326	1020	736	878	286	54,6	42,4
К-1703	1062	733	897	305	51,8	45,6
К-1808	994	493	743	151	48,5	38,4
К-283/64	797	350	573	-19	48,2	38,3
К-31351	860	421	640	48	45,2	33,8
К-35349	791	436	613	21	43,9	34,8
К-44964	1078	690	884	292	53,7	44,0
К-47421	758	334	546	-46	49,2	41,8
К-48712	881	302	591	-1	51,4	41,5
К-49010	990	514	752	160	53,5	43,7
Среднее	898	496	697		50,5	40,2
Вариабельность признака	744–1078	302–736	546–897		43,9–56,2	32,5–45,6
НСР ₀₅	110,94	133,94	116,26		3,33	4,08

Вариабельность признака «количество головок с одного растения» по образцам отмечена в широких пределах – от 247 до 482 шт./раст. по второму году жизни и от 145 до 276 шт./раст. по третьему году жизни (таблица 4). По двум исследуемым годам выделились образцы СД-326, К-1703, К-1808, К-44964 с количеством стеблей на растение от 433 до 482 и от 228 до 276 штук соответственно по годам изучения. Оценка семенной продуктивности показала, что достоверно превышали стандарт по второму и третьему годам жизни образцы К-1702, К-1546, СД-326, К-1703, К-1808, К-283/64: средняя масса семян – от 13,1 до 17,3 г. Образцы К-1844, К-44964 показали достоверное превышение стандарта только по второму году жизни.

Период вегетации растений от отрастания до созревания семян варьировал по опыту от 103 до 116 дней. Раннеспелые образцы, у которых продолжительность вегетации составила 105–107 дней (К-1702, К-1546, СД-326, К-1703, К-1808, К-283/64) имели массу семян с растения 13,1–17,3 г, а у образцов с более длительным периодом – 115–116 дней (К-31351, К-35349, К-49010, Vjeseele, К-47421) масса семян составила 8,1–10,7 г/раст. Самый раннеспелый образец с вегетационным периодом 103 дня имел и самую низкую семенную продуктивность – 7,7 г/раст. В большинстве случаев образцы с более поздним сроком созревания имели более высокую семенную продуктивность относительно раннеспелых образцов.

Таблица 4 – Оценка сортообразцов клевера лугового по семенной продуктивности

Сортообразец	Количество головок с растения, шт.		Масса семян с растения, г			Вегетационный период (отрастание-созревание семян), сут.	
	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	среднее	2021 г.	2022 г.
Нива (St.)	352	154	12,0	4,2	8,1	110	112
К-1844	367	148	17,2	4,8	11	110	113
К-1702	387	221	23,4	11,2	17,3	105	105
Vjeseele	402	211	15,7	5,6	10,7	116	116
К-1548	254	188	10,9	4,4	7,7	103	105
К-1546	396	167	17,8	9,2	13,5	105	107
СД-326	440	228	20,3	10,3	15,3	107	107
К-1703	433	266	17,4	8,8	13,1	105	105
К-1808	482	276	21,4	12,7	17,1	105	105
К-283/64	324	190	16,3	7,9	12,1	110	112
К-31351	247	195	10,5	5,7	8,1	115	115
К-35349	298	145	12,0	4,8	8,4	115	115
К-44964	436	254	16,2	5,0	10,6	110	110
К-47421	354	203	14,6	6,7	10,7	116	113
К-48712	364	211	14,7	6,2	10,5	112	112
К-49010	288	187	11,6	5,3	8,45	115	115
Среднее	364	203	15,9	7,1	11,5	111	114
Вариабельность признака	247–482	145–276	10,5–23,4	4,2–12,7	7,7–17,3	103–116	105–116
НСР ₀₅	68,52	39,81	3,83	2,65	3,24		

Установлена сопряженность по основным хозяйственно полезным признакам (таблица 5). Определено, что кормовая продуктивность в средней степени коррелировала с длиной стеблей ($r = 0,41$ по второму году жизни и $r = 0,61$ по третьему году жизни) и количеством стеблей ($r = 0,58$ и $r = 0,53$ соответственно по годам жизни).

Слабая корреляционная связь отмечена у семенной продуктивности с количеством стеблей на растении ($r = 0,29$ по второму году жизни и $r = 0,21$ по третьему году жизни), высокая – у семенной продуктивности с количеством головок на растении во второй год жизни ($r = 0,80$) и средняя в третий год жизни ($r = 0,59$).

Таблица 5 – Сопряженность кормовой и семенной продуктивности с морфологическими и биологическими признаками

Показатель	Длина стебля, см		Количество стеблей, шт./раст.		Количество головок, шт./раст.	
	второй год жизни	третий год жизни	второй год жизни	третий год жизни	второй год жизни	третий год жизни
Продуктивность						
Кормовая	+ 0,41	+ 0,61	+ 0,58	+ 0,55	–	–
Семенная	–	–	+ 0,29	+ 0,21	+ 0,80	+ 0,59

Установленные корреляционные связи будут использованы в дальнейшей селекционной работе с клевером луговым на повышение кормовой и семенной продуктивности. При создании адаптированных к условиям Европейского Севера Российской Федерации сортов клевера лугового необходимо привлекать исходный материал, характеризующийся повышенным весом зеленой массы растений, количеством стеблей на растении, количеством головок, так как эти признаки сопряжены в средней и сильной степени с урожайностью кормовой массы и семян.

Выводы

Комплексная оценка селекционного материала клевера лугового в условиях Европейского Севера РФ позволила выделить перспективный исходный материал для дальнейшей работы при создании новых адаптивных сортов.

Выделены источники хозяйственно полезных признаков:

– по зимостойкости – К-1702 и К-31351 (99–100 % при первой перезимовке и 75–78 % при второй);

– по раннеспелости – К-1844, К-1702, Vjesele, К-1548, К-47421, К-48712 (вегетационный период от отрастания до начала цветения – 58–60 дней);

по кормовой продуктивности – К-1546, СД-326, К-1703, К-1808, К-44964, К-49010 (743–897 г/раст.);

– по облиственности – К-1702, К-1548, К-1546, К-44964, К-49010 (53,5–56,2 % по второму году жизни, и 41,3–44,0 % по третьему);

– по семенной продуктивности – К-1702, К-1546, СД-326, К-1703, К-1808, К-283/64 (13,1–17,3 г/раст.).

Сведения о корреляционных связях будут использованы при отборе и браковках селекционных номеров в различных питомниках. Необходимо обращать внимание на длину стеблей, количество стеблей, количество головок на растении, так как эти признаки имеют тесную сопряженность с основными хозяйственными признаками.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УроРАН по теме № FUUW-2021-0004.

Литература

1. Сорта кормовых культур селекции ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса»: монография. М.: ООО «Угрешская Типография», 2019. 92 с.
2. Михайлова И. В., Хвостова А. Б., Малышев Л. Л. Сравнительный анализ кормовых бобовых культур в условиях Мурманской области // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. № 183(4). С. 122–131. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-122-131.
3. Буянкин В. И., Назарова М. В. Роль многолетних трав в повышении продуктивности агроландшафтов полупустынной зоны Прикаспия // Кормопроизводство. 2021. № 5. С. 3–8.
4. Корелина В. А., Батакова О. Б. Новый сорт клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) Приор // Кормопроизводство. 2017. № 7. С. 29–32.
5. Seccarely S. Specific adaptation and breeding for marginal conditions // Euphytica. 1994. Vol. 77. No. 3. P. 205–219. DOI: 10.1007/BF02262633.
6. Савченко И. В. Выведение новых сортов и гибридов сельскохозяйственных растений // Вестник РАН. 2017. Т. 87. № 4. С. 325–332. DOI: 10.7868/S0869587317040065.
7. Грипась М. Н., Арзамасова Е. Г., Попова Е. В., Онучина О. Л. Новые сорта клевера вятской селекции // Адаптивное кормопроизводство. 2018. № 3. С. 34–44.
8. Лоскутов И. Г., Блинова Е. В., Гнутиков А. А. Коллекция генетических ресурсов овса ВИР как источник информации по истории возделывания, систематике рода и направлениям селекции культуры (обзор) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. № 184(1). С. 225–238. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-225-238.
9. Хлесткина Е. К. Генетические ресурсы России: от коллекций к биоресурсным центрам // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. № 183(1). С. 9–30. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-9-30.
10. Грипась М. Н., Арзамасова Е. Г., Попова Е. В. Комплексная оценка перспективных сортов клевера лугового // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. No. 66(5). P. 51–58. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.66.5.51-58.
11. Дзюбенко Н. И. Генетические ресурсы культурных растений – основа продовольственной и экологической безопасности России // Вестник РАН. 2015. Т. 85. № 1. С. 3–8. DOI: 10.7868/S0869587315010041.
12. Мазин А. М. Оценка сортов клевера лугового селекции Смоленской ГОСХОС в коллекционном питомнике // Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. 2021; 1:(24–29). DOI:10.54016/SVITOK.2021.1.1.004.
13. Кирюхин С. В., Зарьянова З. А. Создание и оценка гибридного материала клевера лугового в почвенно-климатических условиях ЦЧР РФ // Зернобобовые и крупяные культуры. 2014. № 2 (10). С. 116–121.

14. Корелина В. А., Батакова О. Б., Зобнина И. В. Агробиологические особенности нового сорта клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) Таежник // Земледелие. 2020. № 6. С. 34–37. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10608.
15. Агроклиматические ресурсы Архангельской области. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 136 с.
16. Методические указания по селекции и первичному семеноводству клевера. М.: ВНИИК, 2002. 72 с.
17. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2 // Под общ. ред. Федина М. А. М.: Колос, 1985. 267 с.
18. Широкий унифицированный классификатор СЭВ рода *Trifolium* L. Л.: ВИР, 1983. 28 с.
19. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
20. Корелина В. А., Батакова О. Б. Перспективы интродукции *Symphytum asperum* Lepech. в условиях крайнего севера РФ // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182. № 1. С. 41–47. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-41-47.

References

1. Varieties of forage crops developed at Federal Scientific Center of Forage Production and Agroecology named after V. R. Williams: monography. Moscow: “Ugreshskaya Tipografiya OOO” (Limited Liability Company), 2019. 92 p.
2. Mikhailova I. V., Khvostova A. B., Malyshev L. L. Comparative analysis of fodder legumes in Murmansk Province // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022. No. 183(4). P. 122–131. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-122-131.
3. Buyankin V. I., Nazarova M. V. Perennial grasses as means to improve land productivity in the semi-desert of the Caspian Sea region // Fodder production 2021. No. 5. P. 3–8.
4. Korelina V. A., Batakova O. B. Novel variety of red clover (*Trifolium pratense* L.) ‘Prior’ // Fodder production. 2017. No. 7. P. 29–32.
5. Ceccarelli S. Specific adaptation and breeding for marginal conditions // Euphytica. 1994. Vol. 77. No. 3. P. 205–219. DOI: 10.1007/BF02262633.
6. Savchenko I. V. Breeding new varieties and hybrids of agricultural plants // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2017. Vol. 87. No. 2. P. 104–110. DOI: 10.1134/S1019331617020150.
7. Gripas M. N., Arzamasova E. G., Popova E. V., Onuchina O. L. New clover varieties of Vyatka breeding // Adaptive Fodder Production. 2018. No. 3. P. 34–44.
8. Loskutov I. G., Blinova E. V., Gnutikov A. A. The collection of oat genetic resources held by VIR as a source of information on the history of cultivation and taxonomy of the genus, and breeding trends (a review) // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2023. No. 184(1). P. 225–238. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-225-238.
9. Khlestkina E. K. Genetic resources in Russia: from collections to bioresource centers // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022. No. 183(1). P. 9–30. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-9-30.
10. Gripas M. N., Arzamasova E. G., Popova E. V. Complex estimation of red clover perspective varieties // Agricultural Science Euro-North-East. 2018. No. 66(5). P. 51–58. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.66.5.51-58.
11. Dzyubenko N. I. Genetic resources of cultivated plants as the basis for Russia’s food and environmental security // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2015. Vol. 85. No. 1. P. 15–19. DOI: 10.1134/S1019331615010013.
12. Mazin A. M. Evaluation of meadow clover varieties selection of Smolensk GOSHOS in the collection nursery // Technical crops. Scientific agricultural journal. 2021. No. 1. P. 24–29. DOI: 10.54016/SVITOK.2021.1.1.004.
13. Kiryukhin S. V., Zaryanova Z. A. Release and evaluation of hybrid material of meadow clover for selection in soil-environmental conditions of Central Black Earth Zone of the Russian Federation // Legumes and Groat Crops. 2014. No. 2 (10). P. 116–121.
14. Korelina V. A., Batakova O. B., Zobnina I. V. Agrobiological features of a new variety of meadow clover ‘Taezhnik’ // Zemledelie. 2020. No. 6. P. 34–37. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10608.
15. Agro-climatic resources of the Arkhangelsk region. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971. 136 p.
16. Methodological guidelines for the selection and primary seed production of clover. Moscow: VNIIC, 2002. 72 p.
17. Methodology of State variety testing of agricultural crops. Iss. 2 // Under the general editorship of Fedin M. A. Moscow: Kolos, 1985. 267 p.
18. Wide unified classifier of CMEA of the genus *Trifolium* L. Leningrad: VIR, 1983. 28 p.
19. Dospikhov B. A. Methods of field research. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
20. Korelina V. A., Batakova O. B. Prospects for the introduction of *Symphytum asperum* Lepech. into the Far North of the Russian Federation // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2021. Vol. 182. No. 1. P. 41–47. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-41-47.

UDC 633. 321

Korelina V. A., Batakova O. B., Zobnina I. V.

STUDY AND EVALUATION OF THE SOURCE MATERIAL OF MEADOW CLOVER

Summary. *Creation and preservation of breeding and genetic diversity of the source material of meadow clover and its purposeful use in the breeding process is the basis for the creation of plastic varieties resistant to stress factors. The purpose of the research was to identify promising varieties of *Trifolium pratense* L. under conditions of the European North of the Russian Federation according to the complex of economically useful features for further use in breeding work. Evaluation of 85 meadow clover variety samples was carried out in 2020-2022 in N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Of these, 16 variety samples were identified as the most productive in terms of feed productivity; they were studied in more detail according to the main economic and biological characteristics. In our research, special attention was paid to the following traits: presence of spring and winter forms, winter hardiness, duration of vegetation period from spring regrowth to mowing, plant height, stem length, number of heads per plant, leafiness, feed and seed productivity. Mid-early diploid variety 'Niva' was used as a standard. In the course of the current research, we identified the most promising sources of economically useful characteristics: winter hardiness – K-1702, K-31351 (99-100% at the first overwintering, 75-78% – at the second); early maturity – K-1702, Bjeseele, K-1808, K-1548, K-47421, K-48712; yield of green mass – K-1546, SD-326, K-1703, K-1808, K-44964, K-49010 (743-897 gram per plant); seed productivity – K-1702, K-1546, SD-326, K-1703, K-1808, K-283/64 (13.1–17.3 gram per plant). According to the analysis of the research results, there is a correlation between some economic and morphological characteristics. Average correlations were found between feed productivity and stem length ($r = 0.41$ in the second year of life and $r = 0.61$ in the third one), as well as between feed productivity and number of stems per plant ($r = 0.58$ and $r = 0.53$ in the second and third year of life, respectively). There was a high correlation between seed productivity and number of heads in the second year of life ($r = 0.80$) and average – in the third one ($r = 0.59$). These variety samples will be used in further breeding work with meadow clover.*

Keywords: *breeding, *Trifolium pratense* L., variety samples, winter hardiness, feed and seed productivity, vegetation period, stems, heads, seed set, inflorescence seeding.*

Корелина Валентина Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией растениеводства, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук»; 165390, Россия, г. Архангельск, набережная Северной Двины, 23; e-mail: 19651960@mail.ru.

Батакова Ольга Борисовна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории растениеводства, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук»; 165390, Россия, г. Архангельск, набережная Северной Двины, 23; e-mail: 19651960@mail.ru.

Зобнина Ирина Валентиновна, научный сотрудник лаборатории растениеводства, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук»; 165390, Россия, г. Архангельск, набережная Северной Двины, 23; e-mail: 19651960@mail.ru.

Korelina Valentina Aleksandrovna, Cand. Sc. (Agr.), head of the Laboratory of crop production, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 23, naberezhnaya Severnoy Dviny, Arkhangelsk, 165390, Russia; e-mail: 19651960@mail.ru.

Batakova Olga Borisovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Laboratory of crop production, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 23, naberezhnaya Severnoy Dviny, Arkhangelsk, 165390, Russia; e-mail: 19651960@mail.ru.

Zobnina Irina Valentinovna, research associate of the Laboratory of plant production, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 23, naberezhnaya Severnoy Dviny, Arkhangelsk, 165390, Russia; e-mail: 19651960@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 19.07.2023.
Дата принятия к печати – 21.09.2023.

DOI 10.5281/zenodo.10141347

EDN VBRQTM

УДК 57.084.5: 577.16.085

Круглова Н. Н.

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ К ДЛИТЕЛЬНОМУ
ДЕФИЦИТУ ВОДЫ В ПОЛЕВЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ КАК
МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД В СЕЛЕКЦИИ ЗАСУХОУСТОЙЧИВЫХ
СОРТОВ ХЛЕБНЫХ ЗЛАКОВ**

Уфимский институт биологии – обособленное структурное подразделение
ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»

Реферат. Физиологическая засуха расценивается как абиотический стрессовый фактор, под воздействием которого растения испытывают длительный водный дефицит в воздухе и почве. Негативное действие засухи ведет к снижению продуктивности культурных растений, в частности урожая зерна хлебных злаков. Важнейшее направление исследований – создание сортов, способных сохранять относительно высокий уровень урожайности зерна в условиях длительного дефицита воды. В то же время, с методологических позиций важно провести предварительную оценку степени устойчивости исходных генотипов к длительному дефициту воды до их включения в селекционные программы – традиционные и современные, основанные на данных молекулярной биологии, клеточной и геномной инженерии, редактирования генома. Цель работы – критический обзор литературных данных последних лет, а также результатов собственных исследований, посвященных выявлению прямых и косвенных показателей устойчивости хлебных злаков к длительному водному дефициту как в полевых условиях (сравнение урожая зерна в засушливые и незасушливые годы, выявление индексов степени потери урожая зерна в условиях засухи, оценка корреляций между урожайностью и толерантностью к засухе, диагностика по ряду физиолого-биохимических и эмбриологических показателей и др.), так и условиях лабораторных экспериментов (моделирование засухи в климатических и суховейных камерах, фитотронах, теплицах, применение методов проращивания зерновок и культивирования *in vitro* органов/зародышей в селективных условиях, оценка толерантности к засухе с использованием молекулярно-генетических *omics*-подходов и др.). Для выявления засухоустойчивых генотипов важно использовать полевые и лабораторные методы. Большое значение придается комплексному подходу, состоящему в предварительной лабораторной диагностике генотипов с последующим подтверждением/опровержением полученных результатов в полевых условиях. Принципиальное значение при этом имеет доказательство того, что результаты лабораторных экспериментов положительно коррелируют с результатами полевых испытаний, а главным критерием засухоустойчивости генотипа является сохранение/увеличение урожайности зерна в условиях длительного дефицита воды.

Ключевые слова: засуха, полевая и лабораторная засухоустойчивость, хлебные злаки.

Для цитирования: Круглова Н. Н. Комплексная оценка устойчивости к длительному дефициту воды в полевых и лабораторных условиях как методологический подход в селекции засухоустойчивых сортов хлебных злаков // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3 (35). С. 120–136. EDN: VBRQTM. DOI: 10.5281/zenodo.10141347.

For citation: Kruglova N. N. Complex assessment of the resistance to long-term water deficiency under field and laboratory conditions as a methodological approach in breeding drought-resistant varieties of cereals // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3(35). P. 120–136. EDN VBRQTM. DOI: 10.5281/zenodo.10141347.

Введение

Физиологическая засуха расценивается как абиотический стрессовый фактор, под воздействием которого растения испытывают длительный водный дефицит в воздухе и почве [1]. Так как засуха тесно связана с повышенными температурами воздуха [2], в настоящее время действие этого абиотического стрессового фактора приобретает особую значимость в связи с прогнозируемым повышением аридизации климата [3]. Негативное действие засухи, состоящее главным образом в нарушениях метаболических и фотосинтетических процессов в клетках и тканях растений на всех этапах онтогенеза [4, 5], ведет к существенному снижению урожая зерна сельскохозяйственных культур [6, 7].

Важнейшее направление исследований в области адаптивной селекции засухоустойчивых культурных растений заключается в создании сортов, способных сохранять относительно высокий уровень урожайности в условиях длительного дефицита воды.

Большое внимание в современных селекционных разработках уделяется созданию засухоустойчивых сортов хлебных злаков как основного мирового продовольственного ресурса. В то же время, важно предварительно верно выявить засухоустойчивые генотипы для включения их в соответствующие селекционные программы, как традиционные [8], так и современные, основанные на данных молекулярной биологии, клеточной и геномной инженерии, редактировании генома, а также применении omics-подходов [1, 9, 10].

Для оценки генотипов хлебных злаков по устойчивости к длительному дефициту воды предложены различные методы. **Цель работы** – провести обзор литературных данных и результатов собственных исследований, посвященных выявлению показателей засухоустойчивости хлебных злаков как в полевых условиях, так и условиях лабораторных экспериментов, с оценкой перспективы комплексного использования результатов таких исследований.

В статье проанализированы данные преимущественно последних лет, хотя в литературе представлен обширнейший экспериментальный материал по этой теме, полученный в разные годы.

Оценка устойчивости генотипов хлебных злаков к длительному дефициту воды в полевых условиях. В ходе селекционных исследований разработаны различные способы оценки засухоустойчивости генотипов злаков в полевых условиях. История создания таких разработок достаточно длительна. Важно отметить, что исследователи учитывают как типы засухи (почвенная, воздушная, комбинированная), так и биологические особенности изучаемых генотипов и их экотипов [5, 11–13].

Прямым показателем засухоустойчивости изучаемого генотипа является фактический урожай зерна в условиях водного дефицита в сравнении с урожайностью этого же генотипа в незасушливый/умеренно засушливый год или в сравнении со стандартным сортом/сортом-классификатором (например, пшеницы) [14–16]. Однако в стрессовых условиях урожайность не всегда является наиболее подходящим и простым признаком для оценки засухоустойчивости, кроме того, наследуемость урожайности при стрессе обычно низкая из-за значительной вариабельности отношений генотип–среда [16].

Для отбора в поле засухоустойчивых генотипов злаков с использованием математического аппарата разрабатывают различные индексы, учитывающие как степень потери урожая зерна по сравнению с оптимальными климатическими условиями [17], так и корреляцию между урожайностью и устойчивостью (толерантностью) к засухе [18, 19]. В целом, такие индексы/комплексы индексов отражают способность генотипа поддерживать стабильный уровень урожайности

независимо от стрессовых факторов и, что немаловажно, они достаточно просты в расчетах и доступны в селекционной практике при работе с большим набором генотипов [16, 20].

Влияние засухи на злаки в поле оценивается и по косвенным данным: фенотипу растений, в том числе количественным параметрам – высоте растения, длине колоса и его озерненности (так называемый коэффициент реализации колоса [16]), массе 1000 зерен, глубине залегания корней [8, 20, 21], морфолого-анатомическим показателям флагового листа и корней [22]. Разрабатывают способы диагностической оценки засухоустойчивых генотипов злаков по некоторым физиолого-биохимическим показателям листьев, например, содержанию хлорофилла, каротиноидов и антоцианов [23], гормона стресса абсцизовой кислоты [24] и некоторых аминокислот [25] в полевых условиях. В последние годы предложены и другие способы полевой оценки засухоустойчивости генотипов злаков по различным признакам [5, 16, 26, 27].

В результате многочисленных исследований установлено, что из всех органов растений наиболее чувствительны к воздействию абиотических стрессов в поле пыльники [28–30]. Исследователи активно изучают стресс-реакцию клеток и тканей этих генеративных органов злаков в ответ на воздействие длительного дефицита влаги [31].

Важнейшее, по нашему мнению, направление выявления засухоустойчивых генотипов злаков состоит в оценке развития зародышей в полевых условиях в засушливые годы. Такого рода исследования единичны [32–34], однако весьма перспективны, так как именно в зародыше заложен весь морфогенетический потенциал будущего растения [35], в том числе степень отзывчивости на действие засухи. Так, выявлено участие ряда генов семейства *TaLEA*, играющих значительную роль в позднем эмбриогенезе, в адаптации растений пшеницы к различным стрессовым факторам, включая действие высоких температур воздуха [36].

Перспективным методологическим подходом в полевых исследованиях засухоустойчивости злаков может послужить использование концепции критических периодов (этапов, фаз) в онтогенезе растений [37]. Для злаков этот вопрос исследован по отношению к недостатку воды при изучении фенологических фаз и соответствующих им этапов органогенеза [38]. Так, показано, что потеря урожая зерна пшеницы во многом зависит от действия засухи и ее длительности, когда растение находится в фенофазе кущения (сопряжено с заложением колосков в колосе), трубкования (сопряжено с заложением цветков в колоске), цветения (сопряжено с процессами опыления и оплодотворения), молочной спелости (сопряжено с ранним развитием зародыша) [35]. Хотя этот вопрос в целом изучен достаточно, тем не менее необходима дальнейшая разработка концепции критических периодов развития растений, например, по отношению к эмбриогенезу как самому раннему этапу онтогенеза (подробнее для злаков смотри [39]).

Выявлять засухоустойчивые генотипы злаков в полевых условиях при непосредственном воздействии стрессового фактора повышенных температур воздуха, безусловно, важно. Такого рода работ выполнено немало. В то же время, как подчеркивают многие исследователи [5, 16, 40–42], оценка засухоустойчивости растений в поле ограничена значительными методическими трудностями: короткий вегетационный сезон, невозможность создать контроль проводимых экспериментов, трудоемкость и длительность наблюдений и др. Кроме того, год от года меняются характер, степень и тип воздействия засухи на растения. Сложность оценки воздействия этого стресс-фактора состоит и в суточных/сезонных колебаниях количества атмосферных осадков, и пространственной гетерогенности физико-химических свойств почвы, и в действии на растения в поле комбинации абиотических

стресс-факторов. Определенный аспект решения этой проблемы можно видеть в моделировании засухи непосредственно в полевых условиях, как это показано для пшеницы [43].

Оценка устойчивости генотипов хлебных злаков к длительному дефициту воды в лабораторных условиях.

Методов лабораторной оценки засухоустойчивости генотипов хлебных злаков, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки, предложено немало. Рассмотрим некоторые из них.

Использование климатических и сушовойных камер, фитотронов, теплиц.

Экспериментальные условия таких камер, позволяющие задать контролируемый режим действия температур воздуха выше оптимальных (для злаков, как правило, это выше 28 °С [44]), дают возможность моделировать действие засухи с дальнейшей оценкой, например, степени потери листьями тургора [45]. Перспективность этого подхода состоит и в возможности изучения не собственно устойчивости к дефициту воды, а любого другого биологического свойства, связанного с данным признаком [16], например, участия свободного пролина [1, 5, 46], гликолипидов и фосфолипидов [22] в ответных реакциях листьев злаковых растений на осмотический стресс. Кроме того, этот лабораторный подход позволяет исследовать адаптивные молекулярно-генетические и физиолого-биохимические механизмы засухоустойчивости различных злаков [5, 47–49], знание о которых важно в современных селекционных исследованиях.

В экспериментальной оценке засухоустойчивости генотипов злаков в таких модельных условиях активно используют пыльники, которые более всех органов растений чувствительны к действию засухи, как указывалось выше [28]. Большое внимание в данном случае предложено уделять использованию пыльников злаков, находящихся в критических стадиях развития (мейоз микроспороцитов, митоз микроспор), когда эти генеративные органы наиболее чувствительны к действию абиотических стресс-факторов [31, 50].

В целом, этому направлению лабораторных исследований злаков посвящена обширнейшая литература, обобщение части которой представлено, например, в работе [16]. Авторы делают вывод о том, что при всей перспективности такие методы являются достаточно трудоемкими, что ограничивает их применение в оценке устойчивости селекционного материала к стрессу засухи.

Оценка всхожести зерновок в растворах осмотиков, имитирующих недостаток влаги.

Оценка всхожести зерновок при их проращивании в растворах имитаторов засухи (включая использование гидропоники), с последующим анализом роста и развития проростков, предложена достаточно давно [51] и до настоящего времени относится к наиболее простым и эффективным лабораторным методам диагностики засухоустойчивости генотипов злаков. В качестве селективного осмотического агента, моделирующего засуху, используют ряд веществ: сахарозу, маннит, сорбит, хлорид натрия [16, 52] и наиболее часто – полиэтиленгликоль молекулярной массой 6000 Да (ПЭГ 6000) [53]. Важную роль в данном случае играет адекватная концентрация селективного агента. Так, на основании детального сравнительного анализа влияния ряда концентраций ПЭГ 6000 и маннита на ростовые показатели и гистологический статус проростков пшеницы выявлено, что маннит оказывает более агрессивное действие на ростовые показатели проростков, поэтому для оценки на устойчивость к засухе рекомендуется использовать концентрацию ПЭГ 6000 в 12–14 % [54].

Несмотря на то, что данный метод выявляет относительную степень засухоустойчивости растений [50], тем не менее, его использование позволяет дать

быструю оценку перспективных засухоустойчивых генотипов, проводить работу в течение всего года и анализировать большое количество селекционных образцов [16, 55–58].

Использование методов культуры *in vitro* клеток, тканей и органов.

Для оценки засухоустойчивости генотипов злаков используют и некоторые методы культуры *in vitro* клеток, тканей и органов. Важно подчеркнуть, что это один из немногих подходов, для которых достаточно надёжно выявлено соответствие результатов лабораторных исследований засухоустойчивости итогам полевых испытаний по этому признаку. Так, индексы устойчивости к засухе генотипов пшеницы, определенные путем тестирования *in vitro*, отражали их засухоустойчивость в полевых условиях [59].

Вопрос использования различных методов культуры *in vitro* в оценке засухоустойчивости злаков детально рассмотрен в недавних обзорах [16, 60–64]. Необходимо, однако, еще раз обратиться к анализу возможностей и ограничений использования в оценке засухоустойчивости злаков такого направления, как культура *in vitro* разновозрастных зиготических зародышей (эмбриокультура *in vitro*). Важность использования эмбриокультуры *in vitro* в данном случае обусловлена тем, что структурная и функциональная дифференциация зародыша злаков определяется не только спецификой его развития [65], но и физиологическими условиями в развивающейся зерновке, включая её реагирование на воздействие стрессового фактора засухи.

Метод эмбриокультуры *in vitro* используют при выявлении засухоустойчивых генотипов злаков в селективных условиях имитации засухи введением в состав питательной среды различных стресс-агентов (ПЭГ 6000, сахароза, маннит, хлорид натрия и др.) Такой подход имеет определенные преимущества. Это возможность проводить эксперименты практически круглый год в одних и тех же лабораторных условиях и на относительно небольшой площади, получать большое количество регенерантов к заданному сроку, контролировать все стадии формирования регенерантов и их развития как на индукционной и регенерационной средах *in vitro*, так и в условиях *ex vitro*. Селективный отбор толерантных к дефициту воды зародышей позволяет дать экспресс-диагностическую оценку засухоустойчивости каждого вновь создаваемого сорта. Ускорение в данном случае достигается благодаря тому, что генотип диагностируется на засухоустойчивость на самой ранней стадии онтогенеза – зародыше, а не путем лабораторной оценки зрелой зерновки или полевой оценки растения, как это принято в рутинной селекционной практике.

Кроме того, культуральные условия дают возможность детально анализировать реакции инокулированных зародышей на действие стрессовых факторов питательной среды, имитирующих засуху, так как при добавлении в среду таких имитаторов происходит их непосредственное взаимодействие с большинством клеток эксплантов-зародышей. Тем самым к преимуществам использования эмбриокультуры *in vitro* следует отнести возможность исследования механизмов реагирования тканей и клеток зародышей. Основное же преимущество использования эмбриокультуры *in vitro*, по нашему мнению, состоит в сходстве морфогенетических процессов в растениях в естественных условиях и в регенерантах *in vitro* и *ex vitro*. В таком сходстве можно видеть действие принципа универсальности путей морфогенеза растений в естественных и экспериментальных условиях [35].

В то же время применение метода эмбриокультуры *in vitro* имеет и некоторые ограничения. Так, более эффективна эмбриокультура *in vitro* именно незрелых зародышей [66]. Однако их использование связано с сезонными ограничениями, по крайней мере, для злаков. Кроме того, важно правильно подобрать стадию развития

инокулируемого *in vitro* незрелого зародыша, как правило, критическую в эмбриогенезе [39, 67], а это требует времени и соответствующих навыков экспериментатора.

Тем не менее, в ряде работ продемонстрированы успехи в оценке засухоустойчивости генотипов злаков на основе использования метода эмбриокультуры *in vitro* в селективных условиях. В такой оценке представлены два направления. Первое из них состоит в использовании прямого формирования регенерантов из зародышей на селективной среде [32, 68, 69]. Второе направление связано с непрямым образованием регенерантов через этап формирования из зародышей морфогенных каллусов. Отбор в селективных каллусных культурах *in vitro* устойчивых к водному дефициту генотипов злаков проводят по показателю роста каллусов, отражающегося в увеличении размеров и сырой/сухой массы, а также по активности митозов в каллусных клетках [70]. Большое значение придается и оценке действия антистрессовых регуляторов роста и развития растений в каллусных культурах злаков *in vitro* [61].

Результаты многочисленных исследований, выполненных на примере различных злаков, продемонстрировали успешное применение селективной культуры клеток, тканей и органов *in vitro* при проведении скрининга генотипов на устойчивость к длительному водному дефициту. Однако, как указано в работе [16], для использования различных технологий *in vitro* с целью оценки и отбора устойчивых к засухе генотипов необходимо, чтобы показатели засухоустойчивости на уровне как культивируемых *in vitro* клеток, тканей и органов, так и целого растения в полевых условиях, достоверно коррелировали. С этим мнением нельзя не согласиться. Добавим, что и эмбриональные показатели регенерантов, полученных в селективной культуре *in vitro*, в полевых условиях при воздействии засухи не должны отличаться от типичного хода эмбриогенеза растений в нормальных условиях (это показано, например, для засухоустойчивых регенерантов пшеницы [32]).

Использование молекулярно-генетических методов оценки асухоустойчивости.

Несмотря на то, что признак «засухоустойчивость» относится к сложным комплексным (мультигенным) признакам с низкой наследуемостью [71–74], с помощью современных лабораторных молекулярно-генетических методов достигнуты значительные успехи не только в изучении этого признака у злаков, но и в целевом создании засухоустойчивых сортов. Исследователи используют методы скрининга и идентификации генов/групп генов, связанных с толерантностью к засухе, естественные и/или искусственные мутации (например, индуцированные локальные повреждения в геноме), инструменты редактирования генома (например, кластеризованные короткие палиндромные повторы с регулярным интервалом), феномены трансгенеза и эпигенеза, генетические модификации.

Особенно большое значение в изучении молекулярных механизмов адаптационных стратегий злаков к абиотическому стрессу засухи придается использованию так называемых omics-методов (геномика, транскриптомика, метаболомика, протеомика) [75]. Так, исследования в области геномики, в частности, интервального картирования, позволили выделить у пшеницы области генома, связанные с проявлением ряда агрономических признаков при стрессе засухи, таких как масса тысячи зерен и продолжительность налива зерна [76–78]. Для пшеницы также выявлено, что ключевую роль в устойчивости или чувствительности к засухе играют транскрипционные факторы и их регуляторные сети, в зависимости, однако, от стадии развития растения [79–81]. Количественный протеомный анализ выявил у пшеницы 4272 активных белка, ассоциированных с реакцией теплового стресса [82], а сравнительно новым методом целевой метаболомики показано участие ряда ферментов

и жирных кислот в различных органах этого злака как во время действия засухи, так и при восстановлении после снятия ее действия [83]. Разрабатываются и комплексные omics-методы к оценке засухоустойчивости, например, анализ транскриптома при одновременной оценке показателей метаболизма при прорастании зерновок пшеницы [84], развитии листьев у кукурузы [85].

В целом, подходы, основанные на omics-методах, позволяют приблизиться к пониманию не только молекулярно-генетических механизмов ответных реакций на действие стресса засухи, но и механизмов выживания растений в таких условиях.

Комплексный подход к выявлению засухоустойчивых генотипов хлебных злаков в полевых и лабораторных условиях.

Многие авторы [16, 52, 58, 86–88] подчеркивают необходимость использования комплексного (полевого и лабораторного) подхода в оценке засухоустойчивости одних и тех же генотипов злаков. Такая комплексная оценка, несомненно, повышает достоверность результатов селекции и предложена в различных вариантах. Так, в работе [58] показано использование комплексной диагностической оценки коллекции генотипов пшеницы на засухоустойчивость в полевых условиях с последующим лабораторным анализом полученных зерновок путем их проращивания в растворах имитаторов засухи, а также гистологическим анализом апексов проростков. В работе [88] продемонстрирована оценка генотипов пшеницы по признаку «засухоустойчивость» сначала лабораторным методом, а затем уточнением результатов в полевых условиях.

По-видимому, в каждом отдельном случае вопрос о последовательности полевых и лабораторных испытаний экспериментаторы решают в зависимости от сложившихся обстоятельств. Принципиальное совпадение результатов полевой и лабораторной оценок засухоустойчивости изученных генотипов злаков свидетельствует о возможности проведения поэтапной комплексной оценки устойчивости к абиотическому стрессу засухи. В целом же, на основании анализа литературных и собственных данных по этой теме можно предложить следующую тактику: начинать выявление засухоустойчивости генотипов злаков в лабораторных условиях (1) проращиванием зерновок в растворах имитаторов засухи – как самый простой и быстрый метод предварительной диагностики, не требующий больших материальных затрат и высококвалифицированного персонала; (2) проращиванием незрелых автономных зародышей на селективных культуральных средах *in vitro*, с прямой регенерацией растений – как более точный (в зародышах заложен весь потенциал особи, в том числе устойчивость к длительному дефициту воды), однако и более затратный метод. Дальнейшая оценка генотипов в полевых условиях позволит подтвердить или опровергнуть результаты предварительной диагностики.

Выводы

На примере хлебных злаков показано, что для объективного выявления засухоустойчивых генотипов в селекционных целях важно использовать различные методы – полевые (сравнение фактического урожая зерна в засушливые и незасушливые годы, выявление индексов степени потери урожая зерна в условиях засухи, оценка корреляций между урожайностью и толерантностью к засухе, диагностика по ряду физиолого-биохимических и эмбриологических показателей и др.) и лабораторные (моделирование засухи в климатических и сушевых камерах, фитотронах, теплицах, применение методов проращивания зерновок и культивирования *in vitro* органов/зародышей в селективных условиях, оценка толерантности к засухе с использованием молекулярно-генетических omics-подходов и др.), каждый из которых имеет свои преимущества. Особенно большое значение имеет комплексный подход, состоящий в предварительной лабораторной диагностике

генотипов с последующим подтверждением/опровержением полученных результатов в полевых условиях. Принципиальное значение при этом имеет доказательство того, что результаты лабораторных экспериментов положительно коррелируют с результатами полевых испытаний, а главным критерием засухоустойчивости изучаемого генотипа хлебного злака является сохранение/увеличение урожайности зерна в условиях длительного дефицита воды.

Работа выполнена по теме № 12302080002-2 в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № 075-01134-23-00.

Литература

1. Sattar S., Afzal R., Bashir I., Nawaz B., Shahid A. Biochemical, molecular and morpho-physiological attributes of wheat to upgrade grain production and compete with water stress // International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research. 2019. Vol. 3. No. 3. P. 510–528. DOI: 10.29329/ijiaar.2019.206.16.
2. Jagadish S., Way D., Sharkey T. Scaling plant responses to high temperature from cell to ecosystem // Plant, Cell and Environment. 2021. Vol. 44. No. 7. P. 1987–1991. DOI: 10.1111/pce.14082.
3. Plant life under changing environment: responses and management // Ed. by Tripathi D. K. Academic Press (Elsevier), 2020. 1020 p. DOI: 10.1016/C2018-1-02300-8.
4. Fabregas N., Fernie A. R. The metabolic response to drought // Journal of Experimental Botany. 2019. Vol. 70. No. 4. P. 1077–1085. DOI: 10.1093/jxb/ery437.
5. Lal M. K., Tiwari R. K., Gahlaut V., Mangal V., Kumar A., Singh M. P., Paul V., Kumar S., Singh B., Zinta G. Physiological and molecular insights on wheat response to heat stress // Plant Cell Reports. 2022. Vol. 41. No. 3. P. 501–518. DOI: 10.1007/s00299-021-02784-4.
6. Climate change and food security with emphasis on wheat / Ed. by Ozturk M., Gul A. Academic Press (Elsevier), 2020. 370 p.
7. Hussain J., Khaliq T., Ahmad A., Akhter J., Asseng S. Wheat responses to climate change and its adaptations: a focus on arid and semi-arid environment // International Journal of Environmental Research. 2018. Vol. 12. No. 3. P. 117–126. DOI: 10.1007/s41742-018-0074-2.
8. Драгавцев В. А. Решения технологических задач селекционного повышения урожая, вытекающие из теории эколого-генетической организации количественных признаков // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2019. Вып. 132. С. 17–28. DOI: 10.25684/NBG.boolt.132.2019.02.
9. Gyawali A., Upadhyaya K., Panthi B., Ghimire H., Gautam G., Gupta S. Heat stress effect on wheat: a review // i TECH MAG. 2021. Vol. 3. P. 05–08. DOI: 10.26480/itechmag.03.2021.05.08.
10. Kandel S. Wheat responses, defense mechanisms and tolerance to drought stress: a review article // International Journal for Research in Applied Sciences in Biotechnology. 2021. Vol. 8. No. 5. DOI: 10.31033/ijrasb.8.5.14.
11. Ступко В. Ю., Зобова Н. В., Сидоров А. В., Гаевский Н. А. Перспективные способы оценки яровой мягкой пшеницы на чувствительность к эдафическим стрессам // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 10. С. 45–50. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11010.
12. Pykalo S., Demydov O., Yurchenko T., Prokopik N., Kharchenko M. Comparative assessment of methods for evaluation of drought tolerance in winter bread wheat varieties // ScienceRise: Biological Science. 2019. No. 4(19). P. 17–21. DOI: 10.15587/2519-8025.2019.186813.
13. Raveena, Bharti R., Chaudhary N. Drought resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.): a review // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2019. Vol. 8. No. 9. P. 1780–1792. DOI: 10.20546/ijemas.2019.809.206.
14. Грабовец А. И., Фоменко М. А. Совершенствование методологии селекции пшеницы в условиях недостаточного увлажнения // Зерновые и крупяные культуры. 2016. № 2 (18). С. 48–53.
15. Mwadzingeni L., Shimelis H., Dube E., Liang M. D., Tsilo T. Breeding wheat for drought tolerance: progress and technologies // Journal of Integrative Agriculture. 2016. Vol. 15. No. 5. P. 935–943. DOI: 10.1016/S2095-3119(15)61102-9.
16. Пикало С., Демидов О., Юрченко Т., Хоменко С., Гуменюк О., Харченко М., Прокопик Н. Методи оцінки посухостійкості селекційного матеріалу пшениці // Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 2020. Вип. 82. С. 63–79. DOI: 10.30970/vlubs.2020.82.05.
17. Mehraban A., Tobe A., Gholipouri A., Amiri E., Ghafari A., Rostaii M. Evaluation of drought tolerance indices and yield stability of wheat cultivars to drought stress in different growth stage // World Journal of Environmental Biosciences. 2018. Vol. 7. No 1. P. 8–14.

18. Пакуль В. Н., Плиско Л. Г. Засухоустойчивость сортов яровой мягкой пшеницы // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 12(78). P. 49–52. DOI: 10.23670/IRJ.2018.78.12.046.
19. Falaknaz M., Aalami A., Mehrabi A.A., Sabouri A. Assessing *Aegilops tauschii* genotypes to drought stress using tolerance indices // *Cereal Research*. 2019. Vol. 8. Iss. 4. P. 483–494. DOI: 10.22124/c.2019.10113.1391.
20. Chowdhury M. K., Hasan M. A., Bahadur M. M., Islam M. R., Hakim M. A., Iqbal M. A., Javed T., Raza A., Shabbir R., Sorour S., Elsanafawy N. E. M., Anwar S., Alamri S., Sabagh A. E. L., Islam M. S. Evaluation of Drought Tolerance of Some Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes through Phenology, Growth, and Physiological Indices // *Agronomy*. 2021. Vol. 11. Iss. 9. DOI: 10.3390/agronomy11091792.
21. Chaichi M., Sanjarian F., Razavi K., Gonzalez-Hernandez J. L. Phenotypic diversity among Iranian bread wheat landraces, as a screening tool for drought tolerance // *Acta Physiologiae Plantarum*. 2019. Vol. 41. Article number: 90. DOI: 10.1007/s11738-019-2882-1.
22. Salsinha Y. C. F., Maryani M., Purwestri Y. A., Indradewa D., Rachmawati D. Leaf physiological and anatomical characters contribute to drought tolerance of Nusa Tenggara Timur local rice cultivars // *Journal of Crop Science and Biotechnology*. 2021. Vol. 24. P. 337–348. DOI: 10.1007/s12892-020-00082-1.
23. Grzesiak M. T., Hordynska N., Maksymowicz A., Grzesiak S., Szechynska-Hebda M. Variation among spring wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in response to the drought stress. II – Root system structure // *Plants*. 2019. Vol. 8. No. 12. DOI: 10.3390/plants8120584.
24. Веселов С. Ю., Шарипова Г. В., Тимергалин М. Д., Веселов Д. С., Кудоярова Г. Р. Прогноз засухоустойчивости по содержанию абсцизовой кислоты и изучение возможности упрощения процедуры ее количественной оценки в растениях пшеницы // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2011. Т. 13. № 5 (3). С. 17–20.
25. Yadav B., Jogawat A., Rahman M. S., Narayan O. P. Secondary metabolites in the drought stress tolerance of crop plants: a review // *Gene Reports*. 2021. Vol. 23. No. 3. Art. No. 101040. DOI: 10.1016/j.genrep.2021.101040.
26. Rezaei E. E., Siebert S., Manderscheid R., Muller J., Mahrookashani A., Ehrenpfordt B., Haensch J., Weigel H., Ewert F. Quantifying the response of wheat yields to heat stress: the role of the experimental setup // *Field Crops Research*. 2018. Vol. 217. P. 93–103. DOI: 10.1016/j.fcr.2017.12.015.
27. Sehgal A., Sita K., Siddique K., Kumar R., Bhogireddy S., Varshney R., Rao B., Nair R., Prasad P., Nayyar H. Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality // *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. Art. No. 1705. DOI: 10.3389/fpls.2018.01705.
28. Lawas L. M. F., Erban A., Kopka J., Jagadish S. V. K., Zuther E., Hinch D. K. Metabolic responses of rice source and sink organs during recovery from combined drought and heat stress in the field // *GigaScience*. 2019. Vol. 8. No. 8. Art. No. giz102. DOI: 10.1093/gigascience/giz102.
29. Zhang Z., Hu M., Xu W., Wang Y., Huang K., Zhang C., Wen J. Understanding the molecular mechanism of anther development under abiotic stresses // *Plant Molecular Biology*. 2021. Vol. 105. No 1–2. P. 1–10. DOI: 10.1007/s11103-020-01074-z.
30. Khlaimongkhon S., Chakhonkaen S., Tongmark K., Sangarwut N., Panyawut N., Wasinanon T., Sikaewtung K., Wanchana S., Mongkolsiriwatana C., Chunwonges J., Muangprom A. RNA sequencing reveals rice genes involved in male reproductive development under temperature alteration // *Plants*. 2021. Vol. 10. No. 4. Art. No. 663. DOI: 10.3390/plants10040663.
31. Круглова Н. Н. Экспериментальное выявление засухоустойчивых генотипов хлебных злаков на основе использования пыльников как интегрированных систем: постановка проблемы // *Таврический вестник аграрной науки*. 2022. № 4(32). С. 106–121. EDN: AHNJVD.
32. Круглова Н. Н., Сельдимирова О. А. Эмбриогенез *in vivo* засухоустойчивых регенерантов яровой мягкой пшеницы, полученных в эмбриокультуре *in vitro* // *Таврический вестник аграрной науки*. 2022. № 1(29). С. 65–78. EDN: HEVDGL.
33. Зинатуллина А. Е. Оценка засухоустойчивости хлебных злаков на основе эмбриологических данных (на примере пшеницы) // *Экобиотех*. 2022. Т. 5. № 1. С. 26–40. DOI: 10.31163/2618-964X-2022-5-1-26-40, EDN: XUQMCT.
34. Круглова Н. Н., Сельдимирова О. А., Зинатуллина А. Е. Эмбриональные данные в биотехнологических исследованиях засухоустойчивости пшеницы в целях селекции // *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2022. № 3. С. 16–22. DOI: 10.31040/2222-8349-2022-0-3-16-22.
35. Батыгина Т. Б. Биология развития растений. Санкт-Петербург: ДЕАН, 2014. 764 с.
36. Liu H., Xing M., Yang W., Mu X., Wang X., Lu F., Wang Y., Zhang L. Genome-wide identification of and functional insights into the late embryogenesis abundant (*LEA*) gene family in bread wheat (*Triticum aestivum*) // *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. Art. No. 13375. DOI: 10.1038/s41598-019-49759-w.
37. Круглова Н. Н. Частные и общие критические периоды в онтогенезе цветковых растений: обзор // *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2023. № 3. С. 12–17. DOI: 10.31040/2222-8349-2023-0-3-12-17.

38. Сказкин Ф. Д. Критический период у растений по отношению к недостатку воды в почве. Л.: Наука, 1971. 120 с.
39. Круглова Н. Н., Титова Г. Е., Зинатуллина А. Е. Критические стадии эмбриогенеза злаков: теоретическое и прикладное значение // Онтогенез. 2022. Т. 53. № 6. С. 437–453. DOI: 10.31857/S0475145022060040.
40. Schaarschmidt S., Lawas L. M. F., Glaubitz U., Li X., Erban A., Kopka J., Jagadish S. V. K., Hinch D. K., Zuther E. Season affects yield and metabolic profiles of rice (*Oryza sativa*) under high night temperature stress in the field // International Journal of Molecular Sciences. 2020. Vol. 21. No. 9. Art. No. 3187. DOI: 10.3390/ijms21093187.
41. Zandalinas S. I., Sengupta S., Fritschi F. B., Azad R. K., Nechushtai R., Mittler R. The impact of multifactorial stress combination on plant growth and survival // New Phytologist. 2021. Vol. 230. No. 3. P. 1034–1048. DOI: 10.1111/nph.17232.
42. Ali N., Akmal M. Wheat growth, yield, and quality under water deficit and reduced nitrogen supply. a review // Gesunde Pflanzen. 2022. Vol. 74. P. 371–383. DOI: 10.1007/s10343-021-00615-w.
43. Алабушев А. В., Ионова Е. В., Лиховидова В. А., Газе В. Л. Оценка засухоустойчивости озимой мягкой пшеницы в условиях модельной засухи // Земледелие. 2019. № 7. С. 35–37. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10709.
44. Khan R. M., Yu P., Sun L., Abbas A., Shah L., Xiang X., Wang D., Sohail A., Zhang Y., Liu Q., Cheng S., Cao L. *DCET1* controls male sterility through callose regulation, exine formation, and tapetal programmed cell death in rice // Frontiers in Genetics. 2021. Vol. 12. Art. No. 790789. DOI: 10.3389/fgene.2021.790789.
45. Da Costa M. V. J., Ramegowda V., Sreeman S., Nataraja K. N. Targeted phytohormone profiling identifies potential regulators of spikelet sterility in rice under combined drought and heat stress // International Journal of Molecular Sciences. 2021. Vol. 22. No. 21. Art. No. 11690. DOI: 10.3390/ijms222111690.
46. Salsinha Y. C. F., Nurbaiti S., Sebastian A., Indradewa D., Purwestri Y. A., Rachmawati D. Proline-related gene expression contribute to physiological changes of East Nusa Tenggara (Indonesia) local rice cultivars during drought stress // Biodiversitas. 2022. Vol. 23. No. 7. DOI: 10.13057/biodiv/d230734.
47. Guo J., Gu X., Lu D. Multiomics analysis of kernel development in response to short-term heat stress at the grain formation stage in waxy maize // Journal of Experimental Botany. 2021. Vol. 72. No. 18. P. 6291–6304. DOI: 10.1093/jxb/erab286.
48. Li L., Zheng Z., Biederman J. A., Qian R., Ran Q., Zhang B., Xu C., Wang F., Zhou S., Che R., Dong J., Xu Z., Cui X., Hao Y., Wang Y. Drought and heat wave impacts on grassland carbon cycling across hierarchical levels // Plant, Cell & Environment. 2021. Vol. 44. No 11. P. 2402–2413. DOI: 10.1111/pce.13767.
49. Chen Z., Galli M., Gallavotti A. Mechanisms of temperature-regulated growth and thermotolerance in crop species // Current Opinion in Plant Biology. 2022. Vol. 65. Art. No. 102134. DOI: 10.1016/j.pbi.2021.102134.
50. Круглова Н. Н., Зинатуллина А. Е. Некоторые методологические подходы к выявлению жароустойчивых генотипов культурных растений (на примере хлебных злаков) // Успехи современной биологии. 2023. Т. 143. № 2. С. 194–205. DOI: 10.31857/S0042132423020060.
51. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство // Под ред. Г. В. Удовенко. Л.: ВИР, 1988. 228 с.
52. Бычкова О. В., Хлебова Л. П. Физиологическая оценка засухоустойчивости яровой твердой пшеницы // Acta Biologica Sibirica. 2015. Т. 1. № 1–2. С. 107–116.
53. Chunyan L., Xiangchi Z., Chao L., Cheng L. Ionomics and metabolic response of wheat seedlings to PEG-6000-simulated drought stress under two phosphorus levels // PLoS One. 2022. Vol. 17. No. 9. Art. No. e0274915. DOI: 10.1371/journal.pone.0274915.
54. Сельдимирова О. А. Тестирование селективных агентов для оценки яровой мягкой пшеницы на устойчивость к засухе // Экобиотех. 2019. Т. 2. № 1. С. 51–62. DOI: 10.31163/2618-964X-2019-2-1-51-62.
55. Никитина В. И. Определение холодо- и засухоустойчивости образцов яровой пшеницы, ячменя лабораторными методами // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2017. № 3(27). С. 19–25.
56. Gahtyari N. C., Jaiswal J. P., Talha M., Choudhary R., Uniyal M., Kumar N. Effect of osmotic stress and seed priming on wheat seed germination traits // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2017. Vol. 6. No 4. P. 2799–2809. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.604.323.
57. Парфенова Е. С., Шамова М. Г., Набатова Н. А., Псарева Е. А. Оценка относительной засухоустойчивости сортов озимой ржи способом проращивания на растворе сахарозы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 11. Ч. 2. С. 347–351. DOI: 10.17513/mjprfi.12503.
58. Зинатуллина А. Е. К вопросу о комплексной оценке засухоустойчивости пшеницы в полевых и лабораторных условиях // Экобиотех. 2022. Т. 5. № 3. С. 108–117. DOI: 10.31163/2618-964X-2022-5-3-108-117 EDN: YGSMYI.

59. Россеев В. М., Белан И. А., Россеева Л. П. Тестирование *in vitro* яровой мягкой пшеницы на засухоустойчивость // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011. Т. 76. № 2. С. 32–34.
60. Круглова Н. Н., Сельдимирова О. А., Зинатуллина А. Е. Каллус *in vitro* как модельная система для исследования стресс-устойчивости растений к абиотическим факторам (на примере злаков) // Успехи современной биологии. 2018. Т. 138. № 3. С. 283–293. DOI: 10.7868/S0042132418030067.
61. Зинатуллина А. Е. Модельная система «зародыш–зародышевый каллус» в экспресс-оценке стрессовых и антистрессовых воздействий (на примере злаков) // Экобиотех. 2020. Т. 3. № 1. С. 38–50. DOI: 10.31163/2618-964X-2020-3-1-38-50.
62. Круглова Н. Н., Зинатуллина А. Е. Культура *in vitro* автономных зародышей как модельная система для исследования стресс-устойчивости растений к абиотическим факторам (на примере злаков) // Успехи современной биологии. 2021. Т. 141. № 5. С. 483–495. DOI: 10.31857/S0042132421050057.
63. Круглова Н. Н., Сельдимирова О. А., Зинатуллина А. Е. Каллусные культуры *in vitro* в экспериментальной оценке засухоустойчивости хлебных злаков // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 1(25). С. 124–139. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-124-139.
64. Круглова Н. Н., Сельдимирова О. А., Зинатуллина А. Е. Эмбриокультура *in vitro* в экспериментальной оценке засухоустойчивости хлебных злаков // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 2(26). С. 127–144. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-127-144.
65. Круглова Н. Н., Сельдимирова О. А., Зинатуллина А. Е. Структурные особенности и гормональная регуляция зиготического эмбриогенеза злаков // Успехи современной биологии. 2019. Т. 139. № 4. С. 326–337. DOI: 10.1134/S0042132419040057.
66. Круглова Н. Н., Титова Г. Е., Сельдимирова О. А., Зинатуллина А. Е. Цитофизиологические особенности экспериментальной системы “зародыш *in vivo* – каллус *in vitro*” хлебных злаков // Онтогенез. 2021. Т. 52. № 4. С. 237–253. DOI: 10.31857/S0475145021040042.
67. Круглова Н. Н., Титова Г. Е., Сельдимирова О. А., Зинатуллина А. Е., Веселов Д. С. Зародыш цветковых растений в критическую стадию относительной автономности эмбриогенеза (на примере злаков) // Онтогенез. 2020. Т. 51. № 1. С. 3–18. DOI: 10.31857/S0475145020010024.
68. Круглова Н. Н., Сельдимирова О. А., Зинатуллина А. Е., Никонов В. И. Выявление засухоустойчивых генотипов пшеницы в культуре незрелых зародышей *in vitro* // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2019. Т. 52. № 4. С. 37–41. DOI: 10.31563/1684-7628-2019-52-4-37-41.
69. Зинатуллина А. Е., Никонов В. И. Лабораторная оценка регенерантов гибридных комбинаций пшеницы в условиях *in vitro* и *ex vitro* // Экобиотех. 2021. Т. 4. № 2. С. 81–88. DOI: 10.31163/2618-964X-2021-4-2-81-88.
70. Сельдимирова О. А., Безрукова М. В., Галин И. Р., Лубянова А. Р., Шакирова Ф. М., Круглова Н. Н. Влияние 24-эпибрассинолида на формирование, ростовые показатели и регенерационную способность каллусов *in vitro* контрастных по засухоустойчивости сортов пшеницы // Физиология растений. 2017. Т. 64. № 6. С. 461–472. DOI: 10.7868/S0015330317060082.
71. Sallam A., Alqudah A. M., Dawood M. F., Baenziger P. S., Borner A. Drought stress tolerance in wheat and barley: advances in physiology, breeding and genetics research // International Journal of Molecular Sciences. 2019. Vol. 20. No. 13. DOI: 10.3390/ijms20133137.
72. Janni M., Gullì M., Maestri E., Marmiroli M., Valliyodan B., Nguyen H. T., Marmiroli N. Molecular and genetic bases of heat stress responses in crop plants and breeding for increased resilience and productivity // Journal of Experimental Botany. 2020. Vol. 71. No. 13. P. 3780–3802. DOI: 10.1093/jxb/eraa034.
73. Chu C., Wang S., Paetzold L., Wang Z., Hui K., Rudd J.C., Xue Q., Ibrahim A. M. H., Metz R., Johnson C. D., Rush C. M., Liu S. RNA-seq analysis reveals different drought tolerance mechanisms in two broadly adapted wheat cultivars ‘TAM 111’ and ‘TAM 112’ // Scientific Reports. 2021. Vol. 11. Art. No. 4301. DOI: 10.1038/s41598-021-83372-0.
74. Haider S., Iqbal J., Naseer S., Yaseen T., Shaukat M., Bibi H., Ahmad Y., Daud H., Abbasi N. L., Mahmood T. Molecular mechanisms of plant tolerance to heat stress: current landscape and future perspectives // Plant Cell Reports. 2021. Vol. 40. P. 2247–2271. DOI: 10.1007/S00299-021-02696-3.
75. Bhardwaj A., Devi P., Chaudhary S., Rani A., Jha U. C., Kumar S., Bindumadhava H., Prasad P. V. V., Sharmā K. D., Siddique K. H. M., Nayyar H. ‘Omics’ approaches in developing combined drought and heat tolerance in food crops // Plant Cell Reports. 2022. Vol. 41. No. 3. P. 699–739. DOI: 10.1007/s00299-021-02742-0.
76. Jamil M., Ali A., Gul A., Ghafoor A., Napaz A., Ibrahim A., Naveed N., Yasin N., Mujeeb-Kazi A. Genome-wide association studies of seven agronomic traits under two sowing conditions in bread wheat // BMC Plant Biology. 2019. Vol. 19. Art. No. 149. DOI: 10.1186/s12870-019-1754-6.
77. Li L., Mao X., Wang J., Chang X., Reynolds M., Jing R. Genetic dissection of drought and heat-responsive agronomic traits in wheat // Plant, Cell & Environment. 2019. Vol. 42. No. 9. P. 2540–2553. DOI: 10.1111/pce.13577.

78. Gupta P. K., Balyan H. S., Sharma S., Kumar R. Genetics of yield, abiotic stress tolerance and biofortification in wheat (*Triticum aestivum* L.) // Theoretical and Applied Genetics. 2020. Vol. 133. No. 5. P. 1569–1602. DOI: 10.1007/s00122-020-03583-3.
79. Rangan P., Furtado A., Henry R. Transcriptome profiling of wheat genotypes under heat stress during grain-filling // Journal of Cereal Science. 2020. Vol. 91. Art. No. 102895. DOI: 10.1016/j.jcs.2019.102895.
80. Mao H., Li S., Chen B., Jian C., Mei F., Zhang Y., Li F., Chen N., Li T., Du L., Ding L., Wang Z., Cheng X., Wang X., Kang Z. Variation in *cis*-regulation of a NAC transcription factor contributes to drought tolerance in wheat // Molecular Plant. 2022. Vol. 15. No. 2. P. 276–292. DOI: 10.1016/j.molp.2021.11.007.
81. Lamba K., Kumar M., Singh V., Chaudhary L., Sharma R., Yadav S., Yashveer S., Dalal M., Gupta V., Nagpal S., Saini M., Rai N., Pati R., Malhotra K. Transcriptome profiling in leaves of wheat genotype under heat stress // Plants. 2022. Vol. 11. No. 22. Art. No. 3100. DOI: 10.3390/plants11223100.
82. Kumar R. R., Singh K., Ahuja S., Tasleem M., Singh I., Kumar S., Grover M., Mishra D., Rai G., Goswami S., Singh G., Chinnusamy V., Rai A., Praveen S. Quantitative proteomic analysis reveals novel stress-associated active proteins (SAAPs) and pathways involved in modulating tolerance of wheat under terminal heat // Functional and Integrative Genomics. 2019. Vol. 19. No. 2. P. 329–348. DOI: 10.1007/s10142-018-0648-2.
83. Ullah S., Khan M. N., Lodhi S. S., Ahmed I., Tayyab M., Mehmood T., Din I. U., Khan M., Sohail Q., Akram M. Targeted metabolomics reveals fatty acid abundance adjustments as playing a crucial role in drought-stress response and post-drought recovery in wheat // Frontiers in Genetics. 2022. Vol. 13. Art. No. 972696. DOI: 10.3389/fgene.2022.972696.
84. Li Z., Lian Y., Gong P., Song L., Hu J., Pang H., Ren Y., Xin Z., Wang Z., Lin T. Network of the transcriptome and metabolomics reveals a novel regulation of drought resistance during germination in wheat // Annals of Botany. 2022. Vol. 130. No. 5. P. 717–735. DOI: 10.1093/aob/mcac102.
85. Liu J., Zhang L., Huang L., Yang T., Ma J., Yu T., Zhu W., Zhang Z., Tang J. Uncovering the gene regulatory network of maize hybrid ZD309 under heat stress by transcriptomic and metabolomic analysis // Plants. 2022. Vol. 11. No. 5. Art. No. 677. DOI: 10.3390/plants11050677.
86. Farshadfar E., Jamshidi B., Cheghamirza K., da Silva J. A. T. Evaluation of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using *in vivo* and *in vitro* techniques // Annals of Biological Research. 2012. Vol. 3. No 1. P. 465–476.
87. Тагиманова Д. С., Ергалиева А. Ж., Райзер О. Б., Хапилина О. Н. Оценка генотипов яровой мягкой пшеницы на засухоустойчивость в условиях *in vitro* // Биотехнология. Теория и практика. 2013. № 2. С. 42–46.
88. Баймагамбетова К., Булатова К. Поэтапная оценка сортов и линий яровой пшеницы на засухоустойчивость // Selekcija i semenarstvo. 2013. Vol. XIX. Broj 2. С. 27–34.

References

- Sattar S., Afzal R., Bashir I., Nawaz B., Shahid A. Biochemical, molecular and morpho-physiological attributes of wheat to upgrade grain production and compete with water stress // International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research. 2019. Vol. 3. No. 3. P. 510–528. DOI: 10.29329/ijiaar.2019.206.16.
- Jagadish S., Way D., Sharkey T. Scaling plant responses to high temperature from cell to ecosystem // Plant, Cell and Environment. 2021. Vol. 44. No. 7. P. 1987–1991. DOI: 10.1111/pce.14082.
- Plant life under changing environment: responses and management // Ed. by Tripathi D. K. Academic Press (Elsevier), 2020. 1020 p. DOI: 10.1016/C2018-1-02300-8.
- Fabregas N., Fernie A. R. The metabolic response to drought // Journal of Experimental Botany. 2019. Vol. 70. No. 4. P. 1077–1085. DOI: 10.1093/jxb/ery437.
- Lal M. K., Tiwari R. K., Gahlaut V., Mangal V., Kumar A., Singh M. P., Paul V., Kumar S., Singh B., Zinta G. Physiological and molecular insights on wheat response to heat stress // Plant Cell Reports. 2022. Vol. 41. No. 3. P. 501–518. DOI: 10.1007/s00299-021-02784-4.
- Climate change and food security with emphasis on wheat / Ed. by Ozturk M., Gul A. Academic Press (Elsevier), 2020. 370 p.
- Hussain J., Khaliq T., Ahmad A., Akhter J., Asseng S. Wheat responses to climate change and its adaptations: a focus on arid and semi-arid environment // International Journal of Environmental Research. 2018. Vol. 12. No. 3. P. 117–126. DOI: 10.1007/s41742-018-0074-2.
- Dragavtsev V. A. The answers of the breeding yield gain process tasks, that stem from the theory of an ecological-genetic implementation of quantitative traits // Bulletin of the State Nikita Botanical Garden. 2019. Iss. 132. P. 17–28. DOI: 10.25684/NBG.boolt.132.2019.02.
- Gyawali A., Upadhyaya K., Panthi B., Ghimire H., Gautam G., Gupta S. Heat stress effect on wheat: a review // i TECH MAG. 2021. Vol. 3. P.05–08. DOI: 10.26480/itechmag.03.2021.05.08.

10. Kandel S. Wheat responses, defense mechanisms and tolerance to drought stress: a review article // International Journal for Research in Applied Sciences in Biotechnology. 2021. Vol. 8. No. 5. DOI: 10.31033/ijrasb.8.5.14.
11. Stupko V. Yu., Zobova N. V., Sidorov A. V., Gaevsky N. A. Promising methods for assessing spring common wheat for sensitivity to edaphic stresses // Achievements of Science and Technology in AIC. 2019. Vol. 33. No. 10. P. 45–50. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11010.
12. Pykalo S., Demydov O., Yurchenko T., Prokopik N., Kharchenko M. Comparative assessment of methods for evaluation of drought tolerance in winter bread wheat varieties // ScienceRise: Biological Science. 2019. No. 4(19). P. 17–21. DOI: 10.15587/2519-8025.2019.186813.
13. Raveena, Bharti R., Chaudhary N. Drought resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.): a review // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2019. Vol. 8. No. 9. P. 1780–1792. DOI: 10.20546/ijemas.2019.809.206.
14. Grabovets A. I., Fomenko M. A. Improving wheat breeding methodology in conditions of insufficient humidifying // Legumes and Groat Crops. 2016. No. 2. P. 48–53.
15. Mwadzingeni L., Shimelis H., Dube E., Liang M. D., Tsilo T. Breeding wheat for drought tolerance: progress and technologies // Journal of Integrative Agriculture. 2016. Vol. 15. No. 5. P. 935–943. DOI: 10.1016/S2095-3119(15)61102-9.
16. Pykalo S., Demidov O., Yurchenko T., Khomenko S., Gumenyuk O., Kharchenko M., Prokopik N. Methods for evaluation of wheat breeding material for drought tolerance // Visnyk of Lviv University. Biological series. 2020. Iss. 82. P. 63–79. DOI: 10.30970/vlubs.2020.82.05.
17. Mehraban A., Tobe A., Gholipouri A., Amiri E., Ghafari A., Rostaii M. Evaluation of drought tolerance indices and yield stability of wheat cultivars to drought stress in different growth stage // World Journal of Environmental Biosciences. 2018. Vol. 7. No. 1. P. 8–14.
18. Pakul V. N., Plisko L. G. Drought resistance of varieties of spring soft wheat // International Scientific Research Journal. 2018. No. 12(78). P. 49–52. DOI: 10.23670/IRJ.2018.78.12.046.
19. Falaknaz M., Aalami A., Mehrabi A. A., Sabouri A., Kahrizi D. Assessing *Aegilops tauschii* genotypes to drought stress using tolerance indices // Cereal Research. 2019. Vol. 8. Iss. 4. P. 483–494. DOI: 10.22124/c.2019.10113.1391.
20. Chowdhury M. K., Hasan M. A., Bahadur M. M., Islam M. R., Hakim M. A., Iqbal M. A., Javed T., Raza A., Shabbir R., Sorour S., Elsanafawy N. E. M., Anwar S., Alamri S., Sabagh A. E. L., Islam M. S. Evaluation of drought tolerance of some wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes through phenology, growth, and physiological indices // Agronomy. 2021. Vol. 11. Iss. 9. DOI: 10.3390/agronomy11091792.
21. Chaichi M., Sanjarian F., Razavi K., Gonzalez-Hernandez J. L. Phenotypic diversity among Iranian bread wheat landraces, as a screening tool for drought tolerance // Acta Physiologiae Plantarum. 2019. Vol. 41. Art. No. 90. DOI: 10.1007/s11738-019-2882-1.
22. Salsinha Y. C. F., Maryani M., Purwestri Y. A., Indradewa D., Rachmawati D. Leaf physiological and anatomical characters contribute to drought tolerance of Nusa Tenggara Timur local rice cultivars // Journal of Crop Science and Biotechnology. 2021. Vol. 24. P. 337–348. DOI: 10.1007/s12892-020-00082-1.
23. Grzesiak M. T., Hordynska N., Maksymowicz A., Grzesiak S., Szechynska-Hebda M. Variation among spring wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in response to the drought stress. II – Root system structure // Plants. 2019. Vol. 8. No. 12. DOI: 10.3390/plants8120584.
24. Veselov S. Yu., Sharipova G. V., Timergalin M. D., Veselov D. S., Kudoyarova G. R. Estimation of drought resistance by determination of ABA level and investigation of its assay procedure simplification in wheat plants // Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Izvestia RAS SamSC). 2011. Vol. 13. No. 5(3). P. 17–20.
25. Yadav B., Jogawat A., Rahman M. S., Narayan O. P. Secondary metabolites in the drought stress tolerance of crop plants: a review // Gene Reports. 2021. Vol. 23. No. 3. Art. No. 101040. DOI: 10.1016/j.genrep.2021.101040.
26. Rezaei E. E., Siebert S., Manderscheid R., Muller J., Mahrookashani A., Ehrenpfordt B., Haensch J., Weigel H., Ewert F. Quantifying the response of wheat yields to heat stress: the role of the experimental setup // Field Crops Research. 2018. Vol. 217. P. 93–103. DOI: 10.1016/j.fcr.2017.12.015.
27. Sehgal A., Sita K., Siddique K., Kumar R., Bhogireddy S., Varshney R., Rao B., Nair R., Prasad P., Nayyar H. Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality // Frontiers in Plant Science. 2018. Vol. 9. Art. No. 1705. DOI: 10.3389/fpls.2018.01705.
28. Lawas L. M. F., Erban A., Kopka J., Jagadish S. V. K., Zuther E., Hincha D. K. Metabolic responses of rice source and sink organs during recovery from combined drought and heat stress in the field // GigaScience. 2019. Vol. 8. No. 8. Art. No. giz102. DOI: 10.1093/gigascience/giz102.
29. Zhang Z., Hu M., Xu W., Wang Y., Huang K., Zhang C., Wen J. Understanding the molecular mechanism of anther development under abiotic stresses // Plant Molecular Biology. 2021. Vol. 105. No. 1–2. P. 1–10. DOI: 10.1007/s11103-020-01074-z.

30. Khlaimongkhon S., Chakhonkaen S., Tongmark K., Sangarwut N., Panyawut N., Wasinanon T., Sikaewtung K., Wanchana S., Mongkolsiriwatana C., Chunwonges J., Muangprom A. RNA sequencing reveals rice genes involved in male reproductive development under temperature alteration // *Plants*. 2021. Vol. 10. No. 4. Art. No. 663. DOI: 10.3390/plants10040663.
31. Kruglova N. N. Experimental identity of cereal drought-resistant genotypes based on the use of anthers as the integrated systems: problem statement // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2022. No 4(32). P. 106–121. EDN: AHNJVD.
32. Kruglova N. N., Seldimirova O. A. Embryogenesis *in vivo* of drought-resistant regenerants of spring soft wheat obtained by embryo culture *in vitro* // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2022. No 1(29). P. 65–78. EDN: HEBDGL.
33. Zinatullina A. E. Evaluation of cereals drought resistance based on embryological data (on the example of wheat) // *Ecobiotech*. 2022. Vol. 5. No. 1. P. 26–40. DOI: 10.31163/2618-964X-2022-5-1-26-40. EDN: XUQMCT.
34. Kruglova N. N., Seldimirova O. A., Zinatullina A. E. Embryonic data in biotechnological studies of wheat drought resistance for breeding purposes // *Izvestia Ufimskogo Nauchnogo Tsentra RAN (Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre)*. 2022. No. 3. P. 16–22. DOI: 10.31040/2222-8349-2022-0-3-16-22.
35. Batygina T. B. Plant developmental biology. Saint-Petersburg: DEAN, 2014. 764 p.
36. Liu H., Xing M., Yang W., Mu X., Wang X., Lu F., Wang Y., Zhang L. Genome-wide identification of and functional insights into the late embryogenesis abundant (*LEA*) gene family in bread wheat (*Triticum aestivum*) // *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. Art. No. 13375. DOI: 10.1038/s41598-019-49759-w.
37. Kruglova N. N. Particular and general critical periods in ontogenesis of flowering plants: review // *Izvestia Ufimskogo Nauchnogo Tsentra RAN (Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre)*. 2023. No. 3. P. 12–17. DOI: 10.31040/2222-8349-2023-0-3-12-17.
38. Skazkin F. D. Critical period in plants in relation to soil water deficit. Leningrad: Nauka, 1971. 120 p.
39. Kruglova N. N., Titova G. E., Zinatullina A. E. Critical stages of cereal embryogenesis: theoretical and practical significance // *Russian Journal of Developmental Biology*. 2022. Vol. 53. No. 6. P. 405–420. DOI: 10.1134/S1062360422060042.
40. Schaarschmidt S., Lawas L. M. F., Glaubitz U., Li X., Erban A., Kopka J., Jagadish S. V. K., Hinch D. K., Zuther E. Season affects yield and metabolic profiles of rice (*Oryza sativa*) under high night temperature stress in the field // *International Journal of Molecular Sciences*. 2020. Vol. 21. No. 9. Art. No. 3187. DOI: 10.3390/ijms21093187.
41. Zandalinas S. I., Sengupta S., Fritschi F.B., Azad R. K., Nechushtai R., Mittler R. The impact of multifactorial stress combination on plant growth and survival // *New Phytologist*. 2021. Vol. 230. No. 3. P. 1034–1048. DOI: 10.1111/nph.17232.
42. Ali N., Akmal M. Wheat growth, yield, and quality under water deficit and reduced nitrogen supply. A review // *Gesunde Pflanzen*. 2022. Vol. 74. P. 371–383. DOI: 10.1007/s10343-021-00615-w.
43. Alabushev A. V., Ionova E. V., Likhovidova V. A., Gaze V. L. Estimation of drought resistance of winter common wheat under conditions of model drought // *Zemledelie*. 2019. No. 7. P. 35–37. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10709.
44. Khan R. M., Yu P., Sun L., Abbas A., Shah L., Xiang X., Wang D., Sohail A., Zhang Y., Liu Q., Cheng S., Cao L. *DCET1* controls male sterility through callose regulation, exine formation, and tapetal programmed cell death in rice // *Frontiers in Genetics*. 2021. Vol. 12. Art. No. 790789. DOI: 10.3389/fgene.2021.790789.
45. Da Costa M. V. J., Ramegowda V., Sreeman S., Nataraja K. N. Targeted phytohormone profiling identifies potential regulators of spikelet sterility in rice under combined drought and heat stress // *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. Vol. 22. No. 21. Art. No. 11690. DOI: 10.3390/ijms222111690.
46. Salsinha Y. C. F., Nurbaiti S., Sebastian A., Indradewa D., Purwestri Y. A., Rachmawati D. Proline-related gene expression contribute to physiological changes of East Nusa Tenggara (Indonesia) local rice cultivars during drought stress // *Biodiversitas*. 2022. Vol. 23. No. 7. DOI: 10.13057/biodiv/d230734.
47. Guo J., Gu X., Lu D. Multiomics analysis of kernel development in response to short-term heat stress at the grain formation stage in waxy maize // *Journal of Experimental Botany*. 2021. Vol. 72. No. 18. P. 6291–6304. DOI: 10.1093/jxb/erab286.
48. Li L., Zheng Z., Biederman J. A., Qian R., Ran Q., Zhang B., Xu C., Wang F., Zhou S., Che R., Dong J., Xu Z., Cui X., Hao Y., Wang Y. Drought and heat wave impacts on grassland carbon cycling across hierarchical levels // *Plant, Cell & Environment*. 2021. Vol. 44. No. 11. P. 2402–2413. DOI: 10.1111/pce.13767.
49. Chen Z., Galli M., Gallavotti A. Mechanisms of temperature-regulated growth and thermotolerance in crop species // *Current Opinion in Plant Biology*. 2022. Vol. 65. Art. No. 102134. DOI: 10.1016/j.pbi.2021.102134.
50. Kruglova N. N., Zinatullina A. E. Some methodological approaches to the identification of heat-resistant genotypes of cultivated plants (on the example of cereals) // *Uspekhi Sovremennoi Biologii*. 2023. Vol. 143. No. 2. P. 194–205. DOI: 10.31857/S0042132423020060.

51. Diagnostics of plant resistance to stress: methodological guidance / Ed. by G. V. Udovenko. Leningrad: VIR, 1988. 228 p.
52. Bychkova O. V., Khlebova L. P. Physiological assessment of drought resistance in spring durum wheat // *Acta Biologica Sibirica*. 2015. Vol. 1. No. 1–2. P. 107–116.
53. Chunyan L., Xiangchi Z., Chao L., Cheng L. Ionomeric and metabolic response of wheat seedlings to PEG-6000-simulated drought stress under two phosphorus levels // *PLoS One*. 2022. Vol. 17. No. 9. Art. No. e0274915. DOI: 10.1371/journal.pone.0274915.
54. Seldimirova O. A. Testing of selective agents for evaluation of spring soft wheat for drought resistance // *Ecobiotech*. 2019. Vol. 2. No. 1. P. 51–62. DOI: 10.31163/2618-964X-2019-2-1-51-62.
55. Nikitina V. I. Determination of cooling- and drought resistance of spring wheat and barley samples laboratory methods // *Vestnik of Omsk SAU*. 2017. No. 3(27). P. 19–25.
56. Gahtyari N. C., Jaiswal J. P., Talha M., Choudhary R., Uniyal M., Kumar N. Effect of osmotic stress and seed priming on wheat seed germination traits // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017. Vol. 6. No. 4. P. 2799–2809. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.604.323.
57. Parfenova E. S., Shamova M. G., Nabatova N. A., Psareva E. A. Assessment of the relative drought resistance of varieties of winter rye, method of germination on sucrose // *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2018. No. 11. Part 2. P. 347–351. DOI: 10.17513/mjpf.12503.
58. Zinatullina A. E. On the question about the complex evaluation of wheat drought resistance in field and laboratory conditions // *Ecobiotech*. 2022. Vol. 5. No. 3. P. 108–117. DOI: 10.31163/2618-964X-2022-5-3-108-117. EDN: YGSMYI.
59. Rosseev V. M., Belan I. A., Rosseeva L. P. Testing *in vitro* of spring soft wheat for drought resistance // *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2011. Vol. 76. No. 2. P. 32–34.
60. Kruglova N. N., Seldimirova O. A., Zinatullina A. E. *In vitro* callus as a model system for the study of plant stress-resistance to abiotic factors (on the example of cereals) // *Biology Bulletin Reviews*. 2018. Vol. 8. No. 6. P. 518–526. DOI: 10.1134/S2079086418060063.
61. Zinatullina A. E. The model system “embryo–embryonic callus” in express evaluation of stress and anti-stress effects (on the example of cereals) // *Ecobiotech*. 2020. Vol. 3. No. 1. P. 38–50. DOI: 10.31163/2618-964X-2020-3-1-38-50.
62. Kruglova N. N., Zinatullina A. E. *In vitro* culture of autonomous embryos as a model system for the study of plant stress tolerance to abiotic factors (on the example of cereals) // *Biology Bulletin Reviews*. 2022. Vol. 12. No. 2. P. 201–211. DOI: 10.314/S2079086422020050.
63. Kruglova N. N., Seldimirova O. A., Zinatullina A. E. Callus culture *in vitro* in the experimental evaluation of drought resistance in cereals (review) // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021. No. 1(25). P. 124–139. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-124-139.
64. Kruglova N. N., Seldimirova O. A., Zinatullina A. E. Embryo culture *in vitro* in the experimental evaluation of drought resistance in cereals (review) // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021. No. 2(26). P. 127–144. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-127-144.
65. Kruglova N. N., Seldimirova O. A., Zinatullina A. E. Structural features and hormonal regulation of the zygotic embryogenesis in cereals // *Biology Bulletin Reviews*. 2020. Vol. 10. No. 2. P. 115–126. DOI: 10.1134/S2079086420020048.
66. Kruglova N. N., Titova G. E., Seldimirova O. A., Zinatullina A. E. Cytophysiological features of the cereal-based experimental system “embryo *in vivo* – callus *in vitro*” // *Russian Journal of Developmental Biology*. 2021. Vol. 52. No. 4. P. 199–214. DOI: 10.1134/S1062360421040044.
67. Kruglova N. N., Titova G. E., Seldimirova O. A., Zinatullina A. E., Veselov D. S. Embryo of flowering plants at the critical stage of embryogenesis relative autonomy (by example of cereals) // *Russian Journal of Developmental Biology*. 2020. Vol. 51. No. 1. P. 1–15. DOI: 10.1134/S1062360420010026.
68. Kruglova N. N., Seldimirova O. A., Zinatullina A. E., Nikonov V. I. Identifying of drought tolerant wheat genotypes in culture of immature embryos *in vitro* // *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2019. Vol. 52. No. 4. P. 37–41. DOI: 10.31563/1684-7628-2019-52-4-37-41.
69. Zinatullina A. E., Nikonov V. I. Laboratory evaluation of regenerates of wheat hybrid combinations *in vitro* and *ex vitro* conditions // *Ecobiotech*. 2021. Vol. 4. No. 2. P. 81–88. DOI: 10.31163/2618-964X-2021-4-2-81-88.
70. Seldimirova O. A., Bezrukova M. V., Galin I. R., Lubyanova A. R., Shakirova F. M., Kruglova N. N. 24-epibrassinolide effect on *in vitro* callus tissue formation, growth, and regeneration in wheat varieties with contrasting drought resistance // *Russian Journal of Plant Physiology*. 2017. Vol. 64. No. 6. P. 919–929. DOI: 10.1134/S1021443717060085.
71. Sallam A., Alqudah A. M., Dawood M. F., Baenziger P. S., Borner A. Drought stress tolerance in wheat and barley: advances in physiology, breeding and genetics research // *International Journal of Molecular Sciences*. 2019. Vol. 20. No. 13. DOI: 10.3390/ijms20133137.
72. Janni M., Gullì M., Maestri E., Marmioli M., Valliyodan B., Nguyen H. T., Marmioli N. Molecular and genetic bases of heat stress responses in crop plants and breeding for increased resilience and productivity // *Journal of Experimental Botany*. 2020. Vol. 71. No. 13. P. 3780–3802. DOI: 10.1093/jxb/eraa034.

73. Chu C., Wang S., Paetzold L., Wang Z., Hui K., Rudd J.C., Xue Q., Ibrahim A.M.H., Metz R., Johnson C.D., Rush C.M., Liu S. RNA-seq analysis reveals different drought tolerance mechanisms in two broadly adapted wheat cultivars ‘TAM 111’ and ‘TAM 112’ // Scientific Reports. 2021. Vol. 11. Art. No. 4301. DOI: 10.1038/s41598-021-83372-0.
74. Haider S., Iqbal J., Naseer S., Yaseen T., Shaikat M., Bibi H., Ahmad Y., Daud H., Abbasi N. L., Mahmood T. Molecular mechanisms of plant tolerance to heat stress: current landscape and future perspectives // Plant Cell Reports. 2021. Vol. 40. P. 2247–2271. DOI: 10.1007/S00299-021-02696-3.
75. Bhardwaj A., Devi P., Chaudhary S., Rani A., Jha U. C., Kumar S., Bindumadhava H., Prasad P. V. V., Sharma K. D., Siddique K. H. M., Nayyar H. ‘Omics’ approaches in developing combined drought and heat tolerance in food crops // Plant Cell Reports. 2022. Vol. 41. No. 3. P. 699–739. DOI: 10.1007/s00299-021-02742-0.
76. Jamil M., Ali A., Gul A., Ghafoor A., Napaz A., Ibrahim A., Naveed N., Yasin N., Mujeeb-Kazi A. Genome-wide association studies of seven agronomic traits under two sowing conditions in bread wheat // BMC Plant Biology. 2019. Vol. 19. Art. No. 149. DOI: 10.1186/s12870-019-1754-6.
77. Li L., Mao X., Wang J., Chang X., Reynolds M., Jing R. Genetic dissection of drought and heat-responsive agronomic traits in wheat // Plant, Cell & Environment. 2019. Vol. 42. No. 9. P. 2540–2553. DOI: 10.1111/pce.13577.
78. Gupta P. K., Balyan H. S., Sharma S., Kumar R. Genetics of yield, abiotic stress tolerance and biofortification in wheat (*Triticum aestivum* L.) // Theoretical and Applied Genetics. 2020. Vol. 133. No. 5. P. 1569–1602. DOI: 10.1007/s00122-020-03583-3.
79. Rangan P., Furtado A., Henry R. Transcriptome profiling of wheat genotypes under heat stress during grain-filling // Journal of Cereal Science. 2020. Vol. 91. Art. No. 102895. DOI: 10.1016/j.jcs.2019.102895.
80. Mao H., Li S., Chen B., Jian C., Mei F., Zhang Y., Li F., Chen N., Li T., Du L., Ding L., Wang Z., Cheng X., Wang X., Kang Z. Variation in *cis*-regulation of a NAC transcription factor contributes to drought tolerance in wheat // Molecular Plant. 2022. Vol. 15. No. 2. P. 276–292. DOI: 10.1016/j.molp.2021.11.007.
81. Lamba K., Kumar M., Singh V., Chaudhary L., Sharma R., Yadav S., Yashveer S., Dalal M., Gupta V., Nagpal S., Saini M., Rai N., Pati R., Malhotra K. Transcriptome profiling in leaves of wheat genotype under heat stress // Plants. 2022. Vol. 11. No. 22. Art. No. 3100. DOI: 10.3390/plants11223100.
82. Kumar R. R., Singh K., Ahuja S., Tasleem M., Singh I., Kumar S., Grover M., Mishra D., Rai G., Goswami S., Singh G., Chinnusamy V., Rai A., Praveen S. Quantitative proteomic analysis reveals novel stress-associated active proteins (SAAPs) and pathways involved in modulating tolerance of wheat under terminal heat // Functional and Integrative Genomics. 2019. Vol. 19. No. 2. P. 329–348. DOI: 10.1007/s10142-018-0648-2.
83. Ullah S., Khan M. N., Lodhi S. S., Ahmed I., Tayyab M., Mehmood T., Din I. U., Khan M., Sohail Q., Akram M. Targeted metabolomics reveals fatty acid abundance adjustments as playing a crucial role in drought-stress response and post-drought recovery in wheat // Frontiers in Genetics. 2022. Vol. 13. Art. No. 972696. DOI: 10.3389/fgene.2022.972696.
84. Li Z., Lian Y., Gong P., Song L., Hu J., Pang H., Ren Y., Xin Z., Wang Z., Lin T. Network of the transcriptome and metabolomics reveals a novel regulation of drought resistance during germination in wheat // Annals of Botany. 2022. Vol. 130. No. 5. P. 717–735. DOI: 10.1093/aob/mcac102.
85. Liu J., Zhang L., Huang L., Yang T., Ma J., Yu T., Zhu W., Zhang Z., Tang J. Uncovering the gene regulatory network of maize hybrid ZD309 under heat stress by transcriptomic and metabolomic analysis // Plants. 2022. Vol. 11. No. 5. Art. No. 677. DOI: 10.3390/plants11050677.
86. Farshadfar E., Jamshidi B., Cheghamirza K., da Silva J. A. T. Evaluation of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using *in vivo* and *in vitro* techniques // Annals of Biological Research. 2012. Vol. 3. No. 1. P. 465–476.
87. Tagimanova D. S., Ergalieva A. Zh., Raiser O. B., Khapilina O. N. Evaluation of spring soft wheat genotypes for drought resistance in *in vitro* conditions // Biotekhnologiya. Teoriya i praktika. 2013. No. 2. P. 42–46.
88. Baimagambetova K., Bulatova K. Step-by-step evaluation of spring wheat varieties and lines for drought resistance // Selekcija i semenarstvo. 2013. Vol. XIX. Broj. 2. P. 27–34.

UDC 57.084.5: 577.16.085

Kruglova N. N.

COMPLEX ASSESSMENT OF THE RESISTANCE TO LONG-TERM WATER DEFICIENCY UNDER FIELD AND LABORATORY CONDITIONS AS A METHODOLOGICAL APPROACH IN BREEDING DROUGHT-RESISTANT VARIETIES OF CEREALS

Summary. Physiological drought is regarded as an abiotic stress factor, under the influence of which plants experience a long-term water deficiency both in the air and soil.

The negative effect of drought, consisting mainly in disturbances of metabolic and photosynthetic processes in plant cells and tissues at all stages of ontogenesis, leads to the significant decrease in the productivity of crops, in particular – in the yield of cereals, which are the main source of food for the population of the world. The most important direction of research in the field of adaptive breeding of drought-resistant cereals is the creation of varieties capable of maintaining a relatively high level of grain yield under conditions of prolonged water deficiency. At the same time, from the methodological point of view, it is important to carry out the preliminary assessment of the degree of resistance of initial genotypes to prolonged water deficiency before their inclusion in appropriate breeding programs (i.e., traditional, modern, based on data from molecular biology, cellular and genetic engineering, genome editing). The aim of this work was to conduct a critical review of literature data (mainly of the last few years) and results of our own research, devoted to the identification of direct and indirect indicators of cereals drought resistances both under field conditions (comparison of grain yield in arid and non-arid years; identification of indices of the degree of grain yield loss under drought conditions; assessment of correlations between yield and tolerance to drought; diagnostics by a number of physiological, biochemical and embryological parameters, etc.) and conditions of laboratory experiments (modeling of drought in climatic and dry-air chambers, phytotrons, greenhouses; application of methods of germination of grains and in vitro cultivation of organs/embryos under selective conditions; assessment of tolerance to drought using molecular and genetic omics approaches, etc.). For the objective identification of drought-resistant genotypes, it is important to use both field and laboratory methods because each of them has its own advantages. Particular importance is attached to an integrated approach consisting of preliminary laboratory diagnostics of genotypes with subsequent confirmation/refutation of the results obtained in the field. The fundamental importance, in this case, is the proof that results of laboratory experiments positively correlate with the results of field trials; the main criterion of drought resistance of a genotype is the preservation/increment of grain yield under conditions of prolonged water deficiency.

Keywords: *drought, field and laboratory drought-resistance, cereals.*

Круглова Наталья Николаевна, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории физиологии растений Уфимского Института биологии – обособленного структурного подразделения ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 69; e-mail: kruglova@anrb.ru.

Kruglova Natalia Nikolaevna, Dr. Sc. (Biol.), professor, chief researcher at the Laboratory of plant physiology of the Ufa Institute of biology – subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 69, Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: kruglova@anrb.ru.

Дата поступления в редакцию – 04.08.2023.

Дата принятия к печати – 21.09.2023.

DOI 10.5281/zenodo.10141405

EDN WAINBA

УДК 634.75:577.2:632.4

Лыжин А. С., Лукьянчук И. В.

**НАСЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К АНТРАКНОЗУ,
ДЕТЕРМИНИРУЕМОЙ ДОМИНАНТНЫМ ГЕНОМ Rca2, В ГИБРИДНОМ
ПОТОМСТВЕ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ**

ФГБНУ «Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина»

Реферат. Одним из важнейших показателей селекционной ценности сортов является их способность передавать агробиологические признаки определённому количеству потомков. Использование в селекционных программах идентифицированных доноров позволяет осуществлять направленное конструирование генотипов с заданными признаками. У земляники садовой (*Fragaria × ananassa Duch.*) большинство признаков контролируется полигенно, что затрудняет идентификацию доноров и направленную селекцию. Одним из признаков с моногенной детерминацией, что позволяет вести направленный отбор с помощью ДНК-маркеров, является устойчивость к антракнозу (*Colletotrichum acutatum*). Цель работы – маркер-опосредованный анализ сеянцев земляники садовой селекции ФНЦ им. И.В. Мичурина для выявления закономерностей наследования гена *Rca2* устойчивости к антракнозу в гибридном потомстве и определения донорских качеств исходных форм. Исследования проведены в 2022–2023 гг. Биологическими объектами исследований являлись гибридные сеянцы земляники садовой межсортных комбинаций скрещивания: *Florence × Faith* (40 шт.), *Malwina × Tea* (32 шт.), *Quicky × Olympra* (22 шт.), *Roxana × Kimberly* (24 шт.). Для выявления в геноплазме земляники аллеля резистентности *Rca2* использовали доминантный маркер *STS-Rca2_240*. В результате проведённых исследований установлено, что в комбинации скрещивания *Florence × Faith* количество сеянцев с аллелем *Rca2* составило 37,5 %, в комбинации *Malwina × Tea* – 34,4 %, в комбинации *Quicky × Olympra* – 45,4 %, в комбинации *Roxana × Kimberly* – 66,7 %. Среднее количество сеянцев с геном *Rca2* по изучаемым комбинациям скрещивания составило 46,0 %. Фактическое расщепление по наличию и отсутствию у гибридных генотипов аллеля *Rca2* соответствует теоретически ожидаемому 1:1 при уровне значимости 0,05 (критерий χ^2 по комбинациям скрещивания составил 0,182–3,125 при критическом значении 3,84). На основании полученных данных установлена генотипическая структура исходных форм: сорта *Florence*, *Malwina*, *Olympra* и *Roxana* имеют гетерозиготный генотип и способны передавать аллель резистентности *Rca2* до 50 % гибридных сеянцев. Гибридные формы с идентифицированным маркером *STS-Rca2_240* также имеют гетерозиготный генотип (*Rca2rca2*).

Ключевые слова: *Fragaria × ananassa Duch.*, комбинации скрещивания, молекулярные маркеры, генотип.

Для цитирования: Лыжин А. С., Лукьянчук И. В. Наследование устойчивости к антракнозу, детерминируемой доминантным геном *Rca2*, в гибридном потомстве земляники садовой // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3 (35). С. 137–144. EDN: WAINBA. DOI: 10.5281/zenodo.10141405.

For citation: Lyzhin A. S., Luk'yanchuk I. V. Inheritance of anthracnose resistance determined by the dominant *Rca2* gene in strawberry hybrid progeny // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3(35). P. 137–144. EDN: WAINBA. DOI: 10.5281/zenodo.10141405.

Введение

Земляника садовая (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) – одна из наиболее популярных ягодных культур. В мире насчитывается свыше 3000 сортов земляники, в России в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, на 2023 г. включено 130 сортов. При этом, несмотря на преобладание в Госреестре сортов отечественной селекции, промышленные насаждения в основном представлены интенсивными сортами иностранного происхождения – Polka, Elsanta, Kimberly, Florence, Marmolada и др. [1]. Поэтому важной задачей в рамках реализации стратегии импортозамещения является создание и внедрение в производство новых отечественных высококонкурентоспособных сортов, не уступающих зарубежным аналогам.

Успешное решение задачи совершенствования сортимента земляники неразрывно связано с углублением генетических исследований, привлечением и созданием качественно нового исходного материала, совершенствованием методов подбора родительских пар. Используемые для скрещивания генотипы должны характеризоваться не только высоким уровнем проявления агробиологических признаков, но и способностью передавать их потомству, что позволяет проводить направленное конструирование новых перспективных сортов с заданными параметрами признаков. При этом направленная селекция земляники садовой затруднена полигенной детерминацией большинства селекционируемых признаков вследствие высокого уровня пloidности (8x) из-за объединения четырех субгеномов, причём в литературе описаны три основные модели генома *F.* × *ananassa*: AAAABVCC, AAA'A'BBBB, AAA'A'BBV'B' [2], из которых наиболее широко используется модель AAA'A'BBV'B', предложенная R. S. Bringham в 1990 г. [3].

Вместе с тем в последнее время для некоторых агробиологических признаков земляники садовой выявлены главные генетические детерминанты (доминантные гены или крупные QTL), а также идентифицированы сцепленные с ними ДНК-маркеры, что позволяет проводить ускоренный отбор перспективных генотипов на ранних этапах развития. К числу таких признаков в первую очередь относится устойчивость к ряду патогенов: *Colletotrichum acutatum* [4], *Phytophthora fragariae* var. *fragariae* [5], *Sphaerotheca macularis* [6], *Xanthomonas fragariae* [7]. Кроме того, описаны локусы, вовлечённые в контроль таких признаков как аромат плодов [8, 9] и фотонейтральный тип плодоношения [10].

Устойчивость к антракнозной черной гнили (возбудитель – видовой комплекс *S. acutatum*) – важный агробиологический признак сортов земляники, контролируемый главными локусами *FaRCa1* [11] и *Rca2* [12]. Для идентификации аллельного состояния локуса *FaRCa1* используется маркер HRM [11], гена *Rca2* – маркеры STS-Rca2_240 и STS-Rca2_417 [4]. Указанные маркеры широко используют для анализа генетических коллекций сортов земляники садовой [13-15], однако сведений об их применении для анализа селекционного материала в рамках маркер-опосредованной селекции и наследовании целевых аллелей в гибридном потомстве недостаточно.

Цель исследований – маркер-опосредованный анализ сеянцев земляники садовой селекции ФНЦ им. И.В. Мичурина для выявления закономерностей наследования гена *Rca2* устойчивости к антракнозу в гибридном потомстве и определения донорских качеств исходных форм.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в 2022–2023 гг. Биологическими объектами исследований являлись гибридные сеянцы земляники садовой межсортных комбинаций скрещивания: Florence × Faith, Malwina × Tea, Quicky × Olympia, Roxana × Kimberly общим количеством 118 генотипов.

Геномную ДНК земляники выделяли из молодых листьев, экстракция проводилась СТАВ методом, модифицированном для культуры земляники [16].

Для идентификации аллеля резистентности *Rca2* использовали маркер STS-*Rca2*_240 (целевой продукт – ампликон размером 240 п.н.), для контроля протекания ПЦР и исключения ложноотрицательных результатов – маркер EMFv020, которые применяли в мультиплексной реакции [4]. В качестве положительного контроля – носителя аллеля *Rca2* использовали сорт Elianny [13].

Полимеразную цепную реакцию проводили в термоциклере T100 (Bio-Rad, США) с использованием описанных ранее набора реактивов и программы амплификации [17].

Разделение продуктов амплификации осуществляли методом электрофореза в 2 % агарозном геле с использованием трис-боратного буфера (ТБЕ). Определение размера амплифицированных продуктов проводили с использованием ДНК-маркера Step100 (Биолабмикс, Россия). Визуализацию результатов проводили с использованием системы гель-документации ChemiDoc XRS+ (Bio-Rad, США).

Оценку наследования аллелей гена *Rca2* в гибридном потомстве земляники и определение соответствия фактического расщепления теоретически ожидаемому проводили с использованием критерия согласия Пирсона (критерий χ^2).

Результаты и их обсуждение

В комбинациях скрещивания Malwina × Tea и Roxana × Kimberly источником аллеля устойчивости к антракнозу *Rca2* для гибридных семян являлись материнские формы Malwina и Roxana, наличие у них гена *Rca2* подтверждается проведёнными ранее исследованиями [18, 19], а также литературными данными [15]. В комбинациях скрещивания Quicky × Olympia и Florence × Faith сорта Quicky и Faith имеют гомозиготный генотип по аллелю *rca2* [18, 20], следовательно, источником аллеля *Rca2* для гибридных семян предположительно являются сорта Florence и Olympia, характеризующиеся устойчивостью к наиболее распространённым заболеваниям (опубликованные данные по аллельному состоянию гена *Rca2* у данных сортов отсутствуют).

Количество семян с идентифицированным ДНК-маркером гена *Rca2* в изучаемых гибридных комбинациях варьировало в диапазоне от 34,4% (Malwina × Tea) до 66,7% (Roxana × Kimberly) при среднем значении по комбинациям – 46,0 %. Отклонение от среднего в меньшую сторону составляет 25,2 %, в большую – 45,0 %. Пример идентификации представлен на рисунке 1, результаты – в таблице 1.

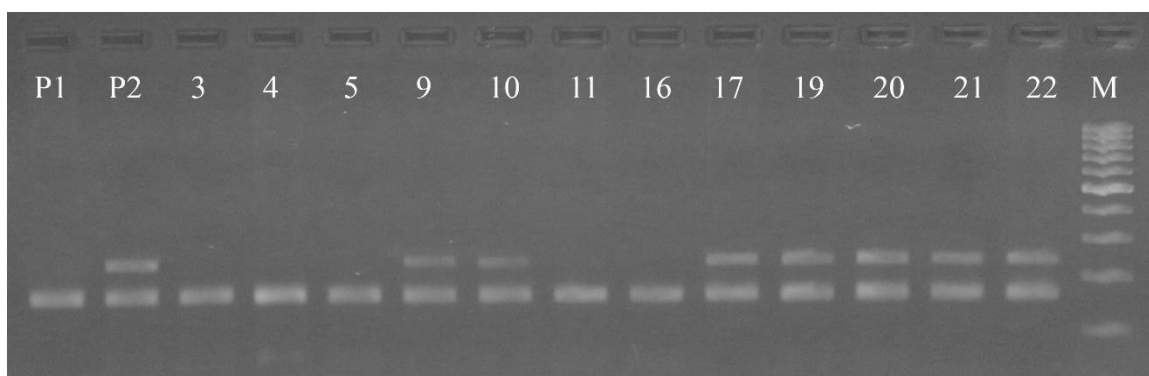


Рисунок 1 – Электрофоретический профиль маркерных фрагментов гена *Rca2* у гибридных семян земляники (комбинация скрещивания Quicky × Olympia)

Примечание. P1 – Quicky, P2 – Olympia, 3–22 – гибридные семена, M – маркер молекулярного веса ДНК

Анализ полученных результатов с использованием критерия согласия Пирсона показал, что фактическое расщепление по наличию и отсутствию у гибридных генотипов аллеля *Rca2* соответствует теоретически ожидаемому 1:1 при уровне значимости 0,05 (критерий χ^2 по комбинациям скрещивания составил 0,182–3,125 при критическом значении 3,84), что подтверждает моногенный характер детерминации признака. Таким образом, исходные формы земляники – сорта Florence, Malwina, Olympia и Roxana являются донорами аллеля резистентности *Rca2* и способны передавать его до 50 % гибридных семян.

Таблица 1 – Результаты наследования аллеля резистентности *Rca2* в гибридном потомстве земляники по данным молекулярно-генетического анализа

Комбинация скрещивания	Количество семян					χ^2 1:1
	Всего	Предполагаемый генотип <i>Rca2rca2</i>		Предполагаемый генотип <i>rca2rca2</i>		
		шт.	шт.	%	шт.	
Florence (<i>Rca2</i>) × Faith (<i>rca2rca2</i>)	40	15	37,5	25	62,5	2,500
Malwina (<i>Rca2</i>) × Tea (<i>rca2rca2</i>)	32	11	34,4	21	65,6	3,125
Quicky (<i>rca2rca2</i>) × Olympia (<i>Rca2</i>)	22	10	45,4	12	54,6	0,182
Roxana (<i>Rca2</i>) × Kimberly (<i>rca2rca2</i>)	24	16	66,7	8	33,3	2,667

Выявленное в наших исследованиях количество семян с аллелем резистентности *Rca2* соотносится с литературными данными. В частности, в комбинации скрещивания Capitola (*Rca2rca2*) × Pajaro (*rca2rca2*) количество гибридов с геном *Rca2* составило 56,3 % [4], в гибридной комбинации Benton (*Rca2rca2*) × Cambridge Favourite (*rca2rca2*) – 40,5 % [21].

Зависимости от использования источника аллеля *Rca2* в качестве материнской или отцовской формы не выявлено. В комбинациях скрещивания Florence × Faith, Malwina × Tea и Roxana × Kimberly (источник аллеля *Rca2* – материнская форма) среднее количество семян с геном *Rca2* составило 46,2%, в комбинации Quicky × Olympia (источник аллеля *Rca2* – отцовская форма) – 45,4%.

Так как фактическое расщепление соответствует теоретическому 1:1, то исходные родительские формы – источники аллеля *Rca2* (сорта Florence, Malwina, Olympia, Roxana), а также все гибридные семена с идентифицированным маркером STS-*Rca2*_240 предположительно должны характеризоваться гетерозиготным сочетанием аллелей (*Rca2rca2*). При этом актуальным направлением исследований в области генетики и селекции плодовых и ягодных культур является гомозиготизация целевых аллелей, позволяющая добиться передачи селективируемого признака 100% потомства [22]. Для реализации этой цели в дальнейшем планируется проведение гибридизации между гетерозиготными по гену *Rca2* генотипами земляники.

Выводы

С использованием диагностического ДНК-маркера STS-*Rca2*_240 проанализировано наследование гена *Rca2* устойчивости к антракнозу в гибридном потомстве земляники садовой. Количество семян с идентифицированным аллелем *Rca2* составило 34,4–66,7% (среднее количество по комбинациям – 46,0%). Наименьшее число семян с аллелем *Rca2* выявлено в комбинации скрещивания Malwina × Tea, наибольшее – в гибридной комбинации Roxana × Kimberly. Фактическое расщепление соответствует теоретически ожидаемому 1:1 ($\chi^2 = 0,182–3,125$ при критическом значении 3,84), что свидетельствует о моногенном наследовании и перспективности метода подбора исходных форм и направленной гибридизации для получения форм с аллелем резистентности *Rca2*. На основании полученных данных установлена генотипическая структура исходных форм: сорта Florence, Malwina, Olympia, Roxana –

гетерозиготный генотип; сорта Faith, Tea, Quicky, Kimberly – гомозиготный по аллелю *rca2*. Гибридные сеянцы, характеризующиеся наличием аллеля *Rca2*, также имеют гетерозиготный генотип (*Rca2rca2*).

Литература

1. Марченко Л. А. Земляника садовая: оценка отечественного сортимента и направления селекции // Аграрный вестник Урала. 2020. № 12(203). С. 50–60. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-50-60.
2. Davis T. M., Shields M. E., Zhang Q., Poulsen E. G., Folta K. M., Bennetzen J. L., San Miguel P. The strawberry genome is coming into view // ISHS Acta Horticulturae: VI International Strawberry Symposium. 2008. Vol. 842. P. 533–536. DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.842.111.
3. Sargent D. J., Passey T., Šurbanovski N., Lopez Girona E., Kuchta P., Davik J., Harrison R., Passey A., Whitehouse A. B., Simpson D. W. A microsatellite linkage map for the cultivated strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) suggests extensive regions of homozygosity in the genome that may have resulted from breeding and selection // Theoretical and Applied Genetics. 2012. Vol. 124. P. 1229–1240. DOI: 10.1007/s00122-011-1782-6.
4. Lerceteau-Kohler E., Guerin G., Denoyes-Rothan B. Identification of SCAR markers linked to *Rca2* anthracnose resistance gene and their assessment in strawberry germplasm // Theor Appl Genet. 2005. Vol. 111. P. 862–870. DOI: 10.1007/s00122-005-0008-1.
5. Haymes K. M., Van de Weg W. E., Arens P., Maas J. L., Vosman B., Den Nijs A. P. M. Development of SCAR markers linked to a *Phytophthora fragariae* resistance gene and their assessment in European and North American strawberry genotypes // J. Amer. Soc. Hort. Sci. 2000. No 125(3). P. 330–339. DOI: 10.21273/JASHS.125.3.330.
6. U.S. Patent No. 10,724,093. Marker associated with powdery mildew resistance in plant of genus *Fragaria* and use thereof // Авторы: Koishihara H., Enoki H., Muramatsu M., Nishimura S., Susumu Y. U. I., Honjo M. Washington, DC. U.S. Patent and Trademark Office. 2020.
7. Oh Y., Chandra S., Lee S. Development of subgenome-specific markers for *FaRXf1* conferring resistance to bacterial angular leaf spot in allo-octoploid strawberry // International Journal of Fruit Science. 2020. Vol. 20 (sup2). P. S198–S210. DOI: 10.1080/15538362.2019.1709116.
8. Zorrilla-Fontanesi Y., Rambla J. L., Cabeza A., Medina J. J., Sánchez-Sevilla J. F., Valpuesta V., Botella M. A., Granell A., Amaya I. Genetic analysis of strawberry fruit aroma and identification of *O-methyltransferase FaOMT* as the locus controlling natural variation in mesifurane content // Plant Physiology. 2012. No. 159(2). P. 851–870. DOI: 10.1104/pp.111.188318.
9. Chambers A. H., Pillet J., Plotto A., Bai J., Whitaker V. M., Folta K. M. Identification of a strawberry flavor gene candidate using an integrated genetic-genomic-analytical chemistry approach // BMC Genomics. 2014. No. 15(1). P. 217. DOI: 10.1186/1471-2164-15-217.
10. Honjo M., Koishihara H., Tsukazaki H., Nishimura S., Yui S. DNA marker linked to everbearing flowering gene in cultivated strawberry, with high applicability to various breeding populations // The Horticulture Journal. 2020. No 89(2). P. 161–166. DOI: 10.2503/hortj.UTD-034.
11. Salinas N., Fan Z., Peres N., Lee S., Whitaker V. M. *FaRCa1* confers moderate resistance to the root necrosis form of strawberry anthracnose caused by *Colletotrichum acutatum* // HortScience. 2020. No 55(5). P. 693–698. DOI: 10.21273/HORTSCI14807-20.
12. Lerceteau-Kohler E., Roudeillac P., Markocic M., Guérin G., Praud K., Denoyes-Rothan B. The use of molecular markers for durable resistance breeding in the cultivated strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) // Acta Hort. 2002. No. 567(2). P. 615–618. DOI: 10.17660/ActaHortic.2002.567.132.
13. Лыжин А. С., Лукьянчук И. В., Жбанова Е. В. Полиморфизм сортов земляники (*Fragaria* × *ananassa*) по гену устойчивости к антракнозу *Rca2* // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. Т. 180. № 1. С. 73–77. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-73-77.
14. Miller-Butler M. A., Smith B. J., Kreiser B. R., Blythe E. K. Comparison of anthracnose resistance with the presence of two SCAR markers associated with the *Rca2* gene in strawberry // HortScience. 2019. No. 54(5). P. 793–798. DOI: 10.21273/HORTSCI13805-18.
15. Храбров И. Э., Антонова О. Ю., Шаповалов М. И., Семенова Л. Г. Молекулярный скрининг сортовой коллекции земляники ВИР на наличие маркера гена устойчивости к антракнозной черной гнили *Rca2* // Биотехнология и селекция растений. 2021. № 4(4). С. 15–24. DOI: 10.30901/2658-6266-2021-4-03.
16. Luk'yanchuk I. V., Lyzhin A. S., Kozlova I. I. Analysis of strawberry genetic collection (*Fragaria* L.) for *Rca2* and *Rpfl* genes with molecular markers // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018. Vol. 22. No. 7. P. 795–799. DOI: 10.18699/VJ18.423.
17. Лыжин А. С., Лукьянчук И. В. Молекулярный скрининг перспективных отборных форм земляники по устойчивости к антракнозу (ген *Rca2*) // Таврический вестник аграрной науки. 2022. №2(30). С. 66–73.

18. Лыжин А. С., Лукьянчук И. В. Анализ сортов земляники садовой по устойчивости к антракнозу с использованием диагностических ДНК-маркеров // Аграрная Россия. 2022. №9. С. 16–20. DOI: 10.30906/1999-5636-2022-9-16-20.
19. Лыжин А. С., Лукьянчук И. В. Оценка устойчивости к антракнозу (ген *Rca2*) сортов земляники зарубежной селекции с использованием днк-маркеров // Материалы XIX международной научной конференции «Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК». Брянск: Институт экономики и агробизнеса Брянского ГАУ, 2022. С. 81–85.
20. Lyzhin A., Luk'yanchuk I. Marker-assisted screening of promising forms in the strawberry breeding // E3S Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference "Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations" (FARBA 2021). 2021. Vol. 254. Art. No. 03002. DOI: 10.1051/e3sconf/202125403002.
21. Sturzeanu M., Ciuca M., Cristina D., Turcu A. G. Use of RAPD and SCAR markers for identification of strawberry genotypes with red stele resistance genes *Rpfl* and fruit rot resistance genes *Rca2* in the hybrid progenies // IX International Strawberry Symposium. 2021. Vol. 1309. P. 93–100. DOI: 10.17660/ActaHortic.2021.1309.15.
22. Baumgartner I. O., Patocchi A., Frey J. E., Peil A., Kellerhals M. Breeding elite lines of apple carrying pyramided homozygous resistance genes against apple scab and resistance against powdery mildew and fire blight // ISHS Acta Horticulturae: Plant Molecular Biology. 2015. No. 33. P. 1573–1583. DOI: 10.1007/s11105-015-0858-x.

References

1. Marchenko L. A. Strawberry: evolution of the domestic assortment and direction of selection // Agrarian Bulletin of the Urals. 2020. No. 12(203). P. 50–60. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-50-60.
2. Davis T. M., Shields M. E., Zhang Q., Poulsen E. G., Folta K. M., Bennetzen J. L., San Miguel P. The strawberry genome is coming into view // ISHS Acta Horticulturae: VI International Strawberry Symposium. 2009. Vol. 842. P. 533–536. DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.842.111.
3. Sargent D. J., Passey T., Šurbanovski N., Lopez Girona E., Kuchta P., Davik J., Harrison R., Passey A., Whitehouse A. B., Simpson D. W. A microsatellite linkage map for the cultivated strawberry (*Fragaria × ananassa*) suggests extensive regions of homozygosity in the genome that may have resulted from breeding and selection // Theoretical and Applied Genetics. 2012. Vol. 124. P. 1229–1240. DOI: 10.1007/s00122-011-1782-6.
4. Lerceteau-Kohler E., Guerin G., Denoyes-Rothan B. Identification of SCAR markers linked to *Rca2* anthracnose resistance gene and their assessment in strawberry germplasm // Theor Appl Genet. 2005. Vol. 111. P. 862–870. DOI: 10.1007/s00122-005-0008-1.
5. Haymes K. M., Van de Weg W. E., Arens P., Maas J. L., Vosman B., Den Nijs A. P. M. Development of SCAR markers linked to a *Phytophthora fragariae* resistance gene and their assessment in European and North American strawberry genotypes // J. Amer. Soc. Hort. Sci. 2000. No 125(3). P. 330–339. DOI: 10.21273/JASHS.125.3.330.
6. U.S. Patent No. 10,724,093. Marker associated with powdery mildew resistance in plant of genus *Fragaria* and use thereof // Authors: Koishihara H., Enoki H., Muramatsu M., Nishimura S., Susumu Y. U. I., Honjo M. Washington, DC. U.S. Patent and Trademark Office. 2020.
7. Oh Y., Chandra S., Lee S. Development of subgenome-specific markers for *FaRXfl* conferring resistance to bacterial angular leaf spot in allo-octoploid strawberry // International Journal of Fruit Science. 2020. Vol. 20(sup2). P. S198–S210. DOI: 10.1080/15538362.2019.1709116.
8. Zorrilla-Fontanesi Y., Rambla J. L., Cabeza A., Medina J. J., Sánchez-Sevilla J. F., Valpuesta V., Botella M. A., Granell A., Amaya I. Genetic analysis of strawberry fruit aroma and identification of *O-methyltransferase FaOMT* as the locus controlling natural variation in mesifurane content // Plant Physiology. 2012. No. 159(2). P. 851–870. DOI: 10.1104/pp.111.188318.
9. Chambers A. H., Pillet J., Plotto A., Bai J., Whitaker V. M., Folta K. M. Identification of a strawberry flavor gene candidate using an integrated genetic-genomic-analytical chemistry approach // BMC Genomics. 2014. No. 15(1). P. 217. DOI: 10.1186/1471-2164-15-217.
10. Honjo M., Koishihara H., Tsukazaki H., Nishimura S., Yui S. DNA marker linked to everbearing flowering gene in cultivated strawberry, with high applicability to various breeding populations // The Horticulture Journal. 2020. No 89(2). P. 161–166. DOI: 10.2503/hortj.UTD-034.
11. Salinas N., Fan Z., Peres N., Lee S., Whitaker V. M. *FaRCa1* confers moderate resistance to the root necrosis form of strawberry anthracnose caused by *Colletotrichum acutatum* // HortScience. 2020. No 55(5). P. 693–698. DOI: 10.21273/HORTSCI14807-20.
12. Lerceteau-Kohler E., Roudeillac P., Markocic M., Guérin G., Praud K., Denoyes-Rothan B. The use of molecular markers for durable resistance breeding in the cultivated strawberry (*Fragaria × ananassa*) // Acta Hort. 2002. No 567(2). P. 615–618. DOI: 10.17660/ActaHortic.2002.567.132.

13. Lyzhin A. S., Luk'yanchuk I. V., Zhanova E. V. Polymorphism of the *Rca2* anthracnose resistance gene in strawberry cultivars (*Fragaria* × *ananassa*) // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2019. Vol. 180. No. 1. P. 73–77. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-73-77.
14. Miller-Butler M. A., Smith B. J., Kreiser B. R., Blythe E. K. Comparison of anthracnose resistance with the presence of two SCAR markers associated with the *Rca2* gene in strawberry // HortScience. 2019. No. 54(5). P. 793–798. DOI: 10.21273/HORTSCI13805-18.
15. Khrabrov I. E., Antonova O. Yu., Shapovalov M. I., Semenova L. G. Molecular screening of the VIR strawberry varieties collection for the presence of a marker for the anthracnose black rot resistance gene *Rca2* // Plant Biotechnology and Breeding. 2021. Vol. 4(4). P. 15–24. DOI: 10.30901/2658-6266-2021-4-03.
16. Luk'yanchuk I. V., Lyzhin A. S., Kozlova I. I. Analysis of strawberry genetic collection (*Fragaria* L.) for *Rca2* and *Rpfl* genes with molecular markers // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018. Vol. 22. No. 7. P. 795–799. DOI: 10.18699/VJ18.423.
17. Lyzhin A. S., Luk'yanchuk I. V. Molecular screening of promising strawberry selected forms by anthracnose resistance (*Rca2* gene) // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 2(30). P. 66–73.
18. Lyzhin A. S., Luk'yanchuk I. V. Analysis of *Fragaria* × *ananassa* Duch. varieties for anthracnose resistance using diagnostic DNA markers // Agrarnaya Rossiya (Agrarian Russia). 2022. Vol. 9. P. 16–20. DOI: 10.30906/1999-5636-2022-9-16-20.
19. Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V. Assessment of anthracnose resistance (*Rca2* gene) at foreign strawberry varieties using DNA markers // Proceedings of the XIX International Scientific Conference “Agroecological aspects of sustainable development of the agro-industrial complex”. Bryansk: Institute of Economics and Agribusiness of Bryansk State Agrarian University, 2022. P. 81–85.
20. Lyzhin A., Luk'yanchuk I. Marker-assisted screening of promising forms in the strawberry breeding // E3S Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference “Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations” (FARBA 2021). 2021. Vol. 254. Art. No. 03002. DOI: 10.1051/e3sconf/202125403002.
21. Sturzeanu M., Ciuca M., Cristina D., Turcu A. G. Use of RAPD and SCAR markers for identification of strawberry genotypes with red stele resistance genes *Rpfl* and fruit rot resistance genes *Rca2* in the hybrid progenies // ISHS Acta Horticulturae: IX International Strawberry Symposium. 2021. Vol. 1309. P. 93–100. DOI: 10.17660/ActaHortic.2021.1309.15.
22. Baumgartner I. O., Patocchi A., Frey J. E., Peil A., Kellerhals M. Breeding elite lines of apple carrying pyramided homozygous resistance genes against apple scab and resistance against powdery mildew and fire blight // Plant Molecular Biology. 2015. No 33. P. 1573–1583. DOI: 10.1007/s11105-015-0858-x.

UDC 634.75:577.2:632.4

Lyzhin A. S., Luk'yanchuk I. V.

INHERITANCE OF ANTHRACNOSE RESISTANCE DETERMINED BY THE DOMINANT *RCA2* GENE IN STRAWBERRY HYBRID PROGENY

Summary. *One of the most important indicators of the breeding value of varieties is their ability to transmit agrobiological traits to a certain number of seedlings. The use of identified donors in breeding programs allows carrying out targeted construction of genotypes with desired traits. In strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.), most traits are controlled polygenically, which makes it difficult to identify donors and carry out directed breeding. Resistance to anthracnose (*Colletotrichum acutatum*) is one of the strawberry traits with monogenic determination, which makes it possible to carry out directed selection using DNA markers. The purpose of the study was marker-assisted analysis of strawberry seedlings created in the I.V. Michurin Federal Scientific Center to identify patterns of inheritance of the *Rca2* anthracnose resistance gene in hybrid progeny and to determine the donor qualities of the initial forms. The studies were carried out in 2022–2023. The biological objects of the study were strawberry hybrid seedlings of intervarietal crossing combinations: ‘Florence’ × ‘Faith’ (40 pcs.), ‘Malwina’ × ‘Tea’ (32 pcs.), ‘Quicky’ × ‘Olympia’ (22 pcs.) and ‘Roxana’ × ‘Kimberly’ (24 pcs.). The *Rca2* anthracnose resistance allele in strawberry genoplasm was identified by dominant marker STS-*Rca2*_240. As a result of the research, it was found that in the crossing combination ‘Florence’ × ‘Faith’, 37.5 % of seedlings were with the *Rca2* allele, in ‘Malwina’ × ‘Tea’ – 34.4%, in ‘Quicky’ × ‘Olympia’ – 45.4%, in ‘Roxana’ × ‘Kimberly’ – 66.7%. The average number of strawberry seedlings with the *Rca2* gene for the*

studied crossing combinations was 46 %. The observed segregation by the presence and absence of the *Rca2* allele in the hybrid genotypes corresponds to the theoretically expected ratio (1:1) at a significance level of 0.05 (χ^2 criterion for cross combinations was 0.182–34.4 %, in 'Quicky' × 'Olympia' – 45.4%, in 'Roxana' × 'Kimberly' – 66.7%. The average 3.125 at a critical value of 3.84). Based on the data obtained, the genotypic structure of the initial forms was established: the strawberry varieties 'Florence', 'Malwina', 'Olympia' and 'Roxana' have a heterozygous genotype and are able to transmit the *Rca2* resistance allele to 50% of hybrid seedlings. Hybrid forms with the identified STS-*Rca2*_240 marker also have a heterozygous genotype (*Rca2rca2*).

Keywords: *Fragaria* × *ananassa* Duch., crossing combinations, molecular markers, genotype.

Лыжин Александр Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии устойчивости и геномных технологий, ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина»; 393760 г. Мичуринск, Тамбовская обл., ул. Мичурина, 30; e-mail: Ranenburzhetc@yandex.ru.

Лукьянчук Ирина Васильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории частной генетики и селекции, ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина»; 393760 г. Мичуринск, Тамбовская обл., ул. Мичурина, 30; e-mail: irina.lk2011@yandex.ru.

Lyzhin Aleksandr Sergeevich, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Laboratory of physiology of resistance and genomic technologies, FSSI "I.V. Michurin Federal Scientific Center"; 30, Michurina str., Michurinsk, Tambov region, 393774, Russia; e-mail: Ranenburzhetc@yandex.ru.

Luk'yanchuk Irina Vasilievna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Laboratory of private genetics and breeding, FSSI "I.V. Michurin Federal Scientific Center"; 30, Michurina str., Michurinsk, Tambov region, 393774, Russia; e-mail: irina.lk2011@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 10.09.2023.

Дата принятия к печати – 21.09.2023.

DOI 10.5281/zenodo.10141453

EDN XBVECS

УДК 633.14:664.746

Лыскова И. В., Лисицын Е.М., Лыскова Т. В., Шляхтина Е. А., Рылова О. Н.

ИНФОРМАТИВНОСТЬ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ РЖИ

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»

Реферат. Изучение информативности селекционных показателей и минимизация системы критериев, определяющих технологические свойства зерна, являются актуальными задачами селекции растений. В 2001–2021 гг. на Фалёнской селекционной станции – филиале ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока» (Кировская область РФ) проведены полевые и лабораторные исследования 15 сортов озимой ржи с целью оценки фенотипической изменчивости показателей качества зерна и выявления наиболее информативных показателей для селекции. Оценивали технологические, хлебопекарные и органолептические показатели зерна и хлебцев в соответствии с общепринятыми методиками. Методом анализа главных компонент выявлено, что показатели «натура зерна» и «масса 1000 зерен» не сопряжены с хлебопекарными свойствами и параметрами устойчивости к прорастанию зерна (коэффициенты корреляции статистически незначимы: $-0,117-0,528$ и $0,051-0,378$ соответственно). Показатель «эластичность» имел примерно равные факторные нагрузки во всех трех главных факторах ($0,551$; $0,516$ и $0,401$), то есть его нельзя четко отнести ни к одному из них. В парах параметров («объем хлеба», «масса 1000 зерен») / («общая хлебопекарная оценка», «цвет мякиша») и «поверхность хлеба» / «цвет корки» для каждого набора показателей требуется отдельная целенаправленная селекция, так как они контролируются разными ортогональными (независимыми) факторами. Параметры «общая хлебопекарная оценка», «пористость», «цвет мякиша» и «форма корки» принадлежат одному главному фактору, но два последних имеют меньшую факторную нагрузку ($13,38$; $14,27$; $9,89$ и $9,21$ соответственно), то есть могут быть исключены из анализа. Параметры «число падения», «высота амилограммы» и «температурный пик клейстеризации» тесно связаны друг с другом ($r = 0,837-0,916$) и имеют практически одинаковые факторные нагрузки ($0,843-0,914$), поэтому в селекционной работе предлагается использовать только параметр «высота амилограммы», как наиболее вариабельный по годам и сортам ($CV = 52,0$).

Ключевые слова: озимая рожь (*Secale cereale* L.), масса 1000 зерен, натура зерна, число падения, амилограмма, хлебопекарная оценка, органолептическая оценка, анализ главных компонент, биplot анализ.

Для цитирования: Лыскова И. В., Лисицын Е. М., Лыскова Т. В., Шляхтина Е. А., Рылова О. Н. Информативность параметров качества зерна для селекции озимой ржи // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3 (35). С. 145–157. EDN: XBVECS. DOI: 10.5281/zenodo.10141453.

For citation: Lyskova I. V., Lisitsyn E. M., Lyskova T. V., Shlyakhtina E. A., Rylova O. N. Informativity of grain quality parameters for winter rye breeding // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3(35). P. 145–157. EDN: XBVECS. DOI: 10.5281/zenodo.10141453.

Введение

Озимая рожь (*Secale cereale* L.) – многофункционально значимая сельскохозяйственная культура, которую используют в производстве кормов для животных, спирта и сырья для глубокой переработки, хлебопечении, поэтому важной задачей селекции при создании сортов хлебопекарного направления является

комплексное изучение качественных свойств зерна различных генотипов [1]. При этом возникает необходимость разработки новых направлений исследований и методических подходов к созданию сортов с высоким качеством зерна целевого назначения [2].

В ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (ФАНЦ Северо-Востока) созданы адаптивные сорта озимой ржи для широкого ареала возделывания. В настоящее время в Госреестре селекционных достижений РФ находится восемь сортов с допуском к использованию в шести регионах страны. Наиболее востребованы в производстве сорта Фалёнская 4, Рушник, Флора и Графиня, возделываемые в 32 областях и республиках России. Создан первый в стране кислотоустойчивый сорт озимой ржи Кипрез, защищённый патентом 2019 г. Уникальность сортов ФАНЦ Северо-Востока заключается в том, что они сочетают биологические характеристики (высокую зимостойкость, стабильную продуктивность, устойчивость к полеганию, толерантность к основному лимитирующему урожайность заболеванию – снежной плесени) с высокими хлебопекарными свойствами [3].

В селекционной практике и в переработке зерна озимой ржи для оценки его качества используют достаточно много разных показателей. Согласно действующему Межгосударственному стандарту «Рожь. Технические условия» (ГОСТ 16990-2017), в число обязательных определений входят показатели натура зерна и число падения. Натурная масса зерна (натура) – признак, определяющий мукомольные достоинства зерна, он не связан непосредственно с хлебопекарной оценкой, но имеет прямое отношение к выходу муки. До середины XIX в. натура была единственным показателем качества зерна на мировом хлебном рынке [4]. Зерно озимой ржи с числом падения ниже 80 сек считают непригодным для хлебопечения. Такие показатели, как «число падения» и «вязкость суспензии», характеризуют устойчивость ржи к прорастанию зерна на корню [5, 6]. Показатель «масса 1000 зерен», характеризующий крупность зерна, в большей мере связан с его посевными свойствами. В то же время считают, что чем крупнее зерно, тем больше содержится в нем эндосперма и тем выше выход муки [7].

В последние десятилетия во всем мире повысились требования к качеству пищевых продуктов, в том числе хлебу, который должен сочетать в себе пользу для здоровья человека с привлекательными органолептическими свойствами [8]. Однако увеличение содержания в хлебе пищевых волокон (что считается одним из преимуществ ржаного хлеба [9]), потенциально может повысить пользу для здоровья, в то же время значительно изменяет вкусовые параметры и внешний вид хлеба, о чем говорят исследования зарубежных авторов. Так, более высокая концентрация пищевых волокон в пшенично-ржаном хлебе приводит к более высокой плотности текстуры, более высокой адгезионной способности и влажности пшенично-ржаного хлеба [10, 11]. С. Martin et al. [12] отмечали более темный цвет мякиша и уменьшение объема буханки хлеба, что может быть связано с более низким содержанием белка [13].

Система показателей качества зерна озимой ржи должна обеспечивать объективную оценку селекционных образцов при наименьших трудозатратах и расходе зерна на анализ. Изучение информативности используемых в селекционных программах показателей и минимизация на его основе системы критериев, определяющих технологические свойства зерна, являются актуальными задачами селекции озимой ржи. Говоря о необходимости вести селекцию озимой ржи в соответствии с требованиями рынка и оценивая органолептические показатели хлеба, такие, как «пористость», «эластичность», «цвет мякиша и корки», «объем хлеба» и др., авторы либо анализируют только органолептические показатели без учета технологических (например, [14]), либо (например, [2]) не делают никаких выводов о возможности использования этих показателей в ходе селекции.

Цель исследований – оценить фенотипическую изменчивость показателей качества зерна в почвенно-климатических условиях Кировской области и выявить наиболее информативные показатели для селекции сортов озимой ржи.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2001–2021 гг. на Фалёнской селекционной станции – филиале ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (Кировская область РФ). Опытные поля расположены в восточном агропочвенном районе центральной климатической зоны Кировской области. Суммы активных температур, отражающие теплообеспеченность района исследований и необходимые для полного развития и созревания зерновых культур, находились в пределах, обусловленных географическим положением региона – 1700–1900 °С [15]. Показатель достиг максимума в 2010 г. и составил 2085 °С. Среднее за время исследований количество осадков составило 656 мм (от 512 до 827 мм), за период май – август (рисунок 1) – 253 мм (от 28 до 434 мм) при климатической норме 626 и 258 мм соответственно. В зимний период средняя высота снежного покрова составляла 80 см. Глубина промерзания почвы варьировала от 10 до 72 см, температура почвы на глубине узла кущения – от 0,0 до –3,0 °С.

Гидротермический коэффициент Селянинова, характеризующий степень увлажнения территории, за 2001–2020 гг. в период налива и созревания зерна озимой ржи (июль–первая декада августа) изменялся в широких пределах: от крайне засушливых (0,2 ед. в 2010 г.) до избыточно увлажненных (3,1 ед. в 2017 г.).

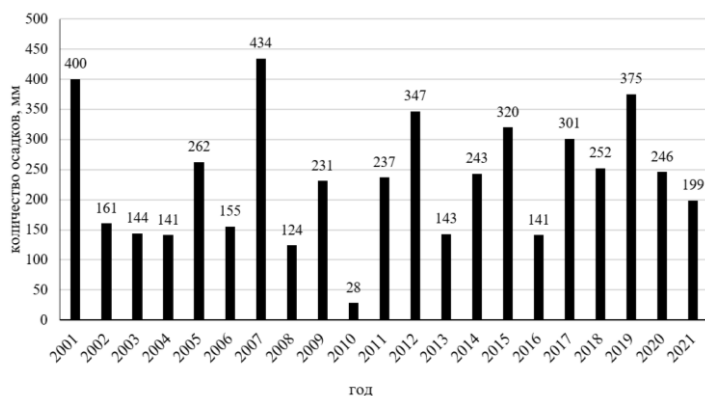


Рисунок 1 – Количество осадков за период исследований (май–август)

Опыт конкурсного сортоиспытания заложен рендомизированным методом в шести повторениях, учетная площадь делянки – 10 м². Почва опытного поля дерново-подзолистая среднесуглинистая, сформированная на покровных суглинках. Агрохимические показатели почвенных участков следующие: содержание подвижного фосфора – 272–316 мг/кг, обменного калия – 150–183 мг/кг (по Тюрину); кислотность солевой вытяжки – 5,0–5,2 ед. рН. Под предпосевную культивацию вносили минеральные удобрения (нитроаммофоска – N₂₇P₆K₆) в дозе 2 ц/га – рекомендуемую дозу минеральных удобрений для озимой ржи в условиях северо-востока Нечерноземной зоны России. Предшественник – чистый пар, норма высева – 6 млн всхожих семян на 1 га сеялкой ССФК-7, уборка проведена в фазе полной спелости зерна комбайном Сампо-130.

Материал для исследования – районированные сорта озимой ржи селекции ФАНЦ Северо-Востока: Батист, Вятка 2, Графиня, Дымка, Кировская 89, Рушник, Снежана, Фалёнская 4, Флора, и перспективные: Кипрез, Ниоба, Роса, Садко, Сара, Сармат.

Оценивали следующие параметры: массу 1000 зерен (МТЗ), натуру зерна (НЗ), число падения (ЧП), определяли на приборе Хагберга-Пертена Falling Number 1400), максимальную вязкость суспензии (оцениваемую по высоте амилограммы (ВА)) и

температурный пик клейстеризации (ТПК) (на амилографе Brabender) по соответствующим методикам [16]. Общая хлебопекарная оценка проведена из муки 60 % выхода (мельница Quadrumat Junior) ускоренным безопарным способом [16]. При органолептической оценке пробной выпечки хлебцев применяли четырехбалльную систему.

Статистическую обработку данных проводили, используя методы вариационной статистики (Microsoft Excel 2007), дисперсионного и корреляционного анализов (пакет программ AGROS версия 2.07), метод главных компонент с построением биplot графика (надстройка XLSTAT 2018.6.54644 для Microsoft Excel 2007). Так как часть исследуемых параметров (таких, как «натура зерна», «масса 1000 зерен» и др.) представляли собой количественные признаки, а другая часть – качественные (все показатели хлебопекарных качеств, оцениваемые в балльных шкалах), для расчета методом главных компонент использовали матрицу ранговых корреляций Спирмена. Статистическую значимость различий между вариантами опыта оценивали при уровне $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Параметры качества зерна озимой ржи имели разную степень варьирования за годы исследований. Так, межсортовая вариабельность параметра «масса 1000 зерен» в 2003, 2007 и 2020 гг. была ниже 7 %, а в 2005 г. составила 17,7 %. Натура зерна варьировала по испытанным сортам от 1,6 % в 2009 г. до 9,6 % в 2004 г. Наибольшим размахом межсортового варьирования характеризовались такие технологические параметры, как «число падения» (5,3 % в 2016 г., 62,3 % в 2005 г.) и «высота амилограммы» (минимум в 2017 г. составил 6,3 %, максимум – в 2005 г. – 59,4 %). Наиболее устойчивым параметром можно признать «температуру пика клейстеризации», показатели которого по сортам менялись от 0,6 % (2015 и 2019 гг.) до 9,8 % (2018 г.) (таблица 1).

Таблица 1 – Параметры качества зерна сортов озимой ржи

Год	Масса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л	Число падения, сек	Высота амилограммы, е.а.	ТПК, °С
2001	33,9 ± 0,9	684,4 ± 6,8	88,4 ± 4,7	156,2 ± 17,1	61,5 ± 0,2
2002	31,5 ± 1,0	708,4 ± 5,2	79,8 ± 4,3	335,6 ± 30,4	63,7 ± 0,3
2003	23,8 ± 0,4	649,8 ± 5,8	159,8 ± 9,0	849,0 ± 54,2	73,9 ± 0,5
2004	31,0 ± 0,7	653,8 ± 16,2	152,5 ± 8,6	577,3 ± 65,7	67,3 ± 0,5
2005	35,0 ± 1,6	696,0 ± 6,9	152,4 ± 24,5	458,0 ± 70,2	66,7 ± 1,1
2006	32,0 ± 0,7	660,4 ± 8,6	78,7 ± 6,3	321,0 ± 29,9	63,8 ± 0,3
2007	33,2 ± 0,6	667,6 ± 3,4	137,3 ± 4,2	309,6 ± 23,3	67,1 ± 0,2
2008	32,6 ± 1,1	680,9 ± 5,0	174,1 ± 6,9	558,6 ± 33,2	67,4 ± 0,5
2009	31,1 ± 0,7	653,1 ± 2,7	246,8 ± 9,0	651,3 ± 45,4	72,5 ± 0,5
2010	30,9 ± 1,0	726,7 ± 3,5	272,7 ± 6,6	902,3 ± 35,6	74,4 ± 0,3
2011	35,8 ± 1,1	705,3 ± 3,6	172,9 ± 10,5	488,9 ± 37,0	67,3 ± 0,3
2012	32,1 ± 1,0	700,2 ± 4,1	132,9 ± 5,5	217,1 ± 7,9	66,7 ± 0,2
2013	27,0 ± 0,7	714,5 ± 4,1	210,1 ± 8,7	781,4 ± 46,9	70,8 ± 0,5
2014	38,4 ± 0,7	703,6 ± 5,1	118,3 ± 7,6	415,7 ± 32,2	62,7 ± 0,2
2015	23,4 ± 0,6	625,9 ± 3,8	92,5 ± 2,4	268,3 ± 15,6	60,1 ± 0,1
2016	25,0 ± 0,8	684,4 ± 4,7	255,2 ± 3,5	761,2 ± 19,9	77,5 ± 0,3
2017	35,2 ± 0,7	670,5 ± 3,2	122,7 ± 4,4	355,5 ± 5,8	67,4 ± 0,3
2018	29,8 ± 0,6	690,4 ± 4,0	186,0 ± 8,2	499,3 ± 16,1	70,9 ± 1,8
2019	27,2 ± 0,7	649,8 ± 4,0	62,0 ± 3,0	155,0 ± 6,0	61,0 ± 0,1
2020	30,9 ± 0,4	689,1 ± 3,1	170,2 ± 5,0	452,2 ± 10,9	71,1 ± 0,2
2021	24,5 ± 0,7	693,5 ± 3,7	247,7 ± 6,7	1161,3 ± 38,6	73,9 ± 0,6
CV, %	12,3	3,8	39,4	52,0	7,1

Примечание. Представлены средние значения с ошибкой средней ($X \pm Sx$) по 15 сортам озимой ржи. ТПК – температура пика клейстеризации.

В целом, условия 2005 г. в наибольшей степени способствовали проявлению межсортовых отличий по параметрам «масса 1000 зерен», «число падения» и «высота амилограммы», тогда как в 2020 г. различия между сортами по большинству параметров были минимальны.

Коэффициенты вариации для отдельных сортов по годам (максимум–минимум) составили: «масса 1000 зёрен» – 4,5–12,0; «натура зерна» – 1,2–6,1; «число падения» – 4,9–35,9; «высота амилограммы» – 6,3–34,3; «температура пика клейстеризации» – 0,8–4,6 %.

Основное влияние на вариабельность изученных показателей оказывали условия года выращивания, тогда как доля влияния генотипа была значительно ниже, хотя статистически значима при $p \leq 0,05$ (таблица 2).

Коэффициенты парных корреляций между количеством осадков (июль и первая декада августа) и параметрами «число падения», «высота амилограммы» и «температура пика клейстеризации» были статистически значимы (при $p \leq 0,05$) и составили -0,52; -0,72; -0,46 соответственно.

Таблица 2 – Доля влияния генотипа, среды (год) и их взаимодействия на изменчивость признаков качества зерна озимой ржи (2001–2021 гг.)

Показатель	Доля влияния факторов, %		
	генотип	год	взаимодействие генотип × год
Масса 1000 зёрен	16,4	68,3	8,6
Натура зерна	12,3	76,1	6,5
Число падения	10,7	76,2	6,1
Высота амилограммы	7,8	82,5	5,6
Температура пика клейстеризации	5,1	86,2	3,8

Корреляционный анализ экспериментальных данных как параметрическими (коэффициент Пирсона), так и непараметрическими (коэффициент Спирмена) методами (таблица 3) показал, что в целом оценка коэффициентов парных корреляций между параметрами совпадала по величине при статистической значимости связей (например, между показателями «число падения» и «высота амилограммы» $r = 0,889$ и $0,837$ соответственно), и сильно различалась в случае статистической незначимости этих связей (например, между показателями «масса 1000 зерен» и «натура зерна» $r = 0,420$ и $0,156$).

Соответственно, так как при анализе методом главных компонент используется матрица парных корреляций, правильный выбор метода их расчета оказывает сильное влияние на конечный результат. В нашем исследовании далее работали с матрицей ранговых корреляций Спирмена, так как восемь из 14 использованных показателей (органолептическая оценка хлеба) оценивали в баллах, что является качественным параметром.

Система показателей качества зерна должна обеспечивать объективную оценку генотипов при наименьшем расходе зерна на анализ и при минимальных трудозатратах [17]. Чтобы выявить структурные связи комплекса из 13 используемых в селекции и хлебопечении показателей, оцененных при тестировании качества зерна озимой ржи, выявить наиболее информативные, интегральные и независимые признаки была использована процедура анализа главных компонент (таблица 4).

Оптимальное число факторов (в нашем случае три) выделено по критерию Кайзера (то есть, учитывали только факторы с собственным значением – eigenvalue – выше 1,0). Этот критерий является наиболее употребимым при выделении главных компонент по корреляционной матрице исходных данных. Факторную нагрузку признавали значимой, если ее абсолютное значение превышало 0,5 [18]. Чем выше значение факторной нагрузки, тем сильнее сила связи данного фактора с изучаемым признаком.

Таблица 3 – Коэффициенты парных корреляций признаков качества зерна озимой ржи

Признак	МТЗ	НЗ	ЧП	ВА	ТПК	ОХ	ОХП	ФК	ПОВ	ЦК	ЦМ	ПОР	Эл
МТЗ	1	0,156	-0,226	-0,323	-0,273	0,108	0,051	-0,098	0,378	-0,089	0,067	-0,091	0,251
НЗ	0,420	1	0,218	0,297	0,233	-0,420	0,284	0,483	0,241	0,243	0,528	0,342	-0,117
ЧП	-0,078	0,312	1	0,837*	0,916*	-0,029	0,798*	0,702*	0,172	0,672*	0,601*	0,891*	0,474
ВА	-0,154	0,353	0,889*	1	0,848*	-0,059	0,789*	0,564*	0,103	0,763*	0,723*	0,903*	0,410
ТПК	-0,046	0,369	0,945*	0,852*	1	-0,119	0,696*	0,542*	0,138	0,548*	0,585*	0,809*	0,347
ОХ	-0,168	-0,513	-0,167	-0,100	-0,265	1	0,116	-0,091	0,172	-0,075	0,005	-0,021	0,274
ОХП	0,156	0,339	0,756*	0,739*	0,653*	0,126	1	0,739*	0,310	0,710*	0,811*	0,891*	0,725*
ФК	0,018	0,524*	0,748*	0,614*	0,631*	-0,221	0,785*	1	0,349	0,556*	0,582*	0,745*	0,252
ПОВ	0,301	0,211	0,106	0,038	0,052	0,065	0,291	0,343	1	-0,264	0,260	0,364	0,288
ЦК	0,111	0,312	0,695*	0,757*	0,589*	0,022	0,771*	0,568*	-0,264	1	0,560*	0,727*	0,403
ЦМ	0,248	0,495	0,603*	0,684*	0,574*	0,098	0,798*	0,585*	0,246	0,591*	1	0,737*	0,340
ПОР	0,072	0,365	0,873*	0,883*	0,766*	-0,032	0,908*	0,763*	0,362	0,733*	0,728*	1	0,543*
ЭЛ	0,203	-0,135	0,108	0,084	0,036	0,348	0,587*	0,186	0,265	0,283	0,257	0,379	1

Примечание. МТЗ – масса 1000 зёрен, НЗ – натура зерна, ЧП – число падения, ВА – высота амилограммы, ТПК – температура пика клейстеризации, ОХ – объём хлеба, ФК – форма корки, ПОВ – поверхность, ЦК – цвет корки, ЦМ – цвет мякиша, ПОР – пористость, Эл – эластичность, ОХП – общая хлебопекарная оценка. * – коэффициенты, статистически значимые при $p \leq 0,05$. Выше диагонали – коэффициенты ранговой корреляции Спирмена, ниже – коэффициенты парной корреляции Пирсона.

Таблица 4 – Факторные нагрузки показателей качества зерна озимой ржи исследованного набора сортов (2001 –2021 гг.)

Показатель	Главные факторы			Вклад показателей в факторы, %		
	1	2	3	1	2	3
Масса 1000 зерен, г	-0,101	0,742	0,320	0,154	29,601	6,365
Натура зерна, г/л	0,402	-0,078	0,824	2,453	0,330	42,238
Число падения, с	0,914	-0,121	-0,152	12,650	0,791	1,441
Высота амилограммы, е.а.	0,913	-0,225	-0,126	12,627	2,709	0,982
ТПК, °С	0,843	-0,220	-0,102	10,761	2,593	0,652
Объём хлеба, мм	-0,035	0,538	-0,593	0,019	15,529	21,820
Общая х/п оценка, балл	0,940	0,226	-0,095	13,382	2,744	0,559
Форма корки, балл	0,780	0,008	0,261	9,212	0,004	4,221
Поверхность хлеба, балл	0,268	0,711	0,336	1,092	27,179	7,036
Цвет корки, балл	0,766	-0,256	-0,164	8,899	3,527	1,670
Цвет мякиша, балл	0,808	0,102	0,220	9,888	0,554	2,996
Пористость, балл	0,971	0,048	-0,016	14,271	0,126	0,016
Эластичность, балл	0,551	0,516	-0,401	4,592	14,314	10,005
Дисперсия	6,601	1,862	1,609	-	-	-
Дисперсия, %	50,774	14,326	12,377	-	-	-
Накопленная дисперсия	50,774	65,100	77,477	-	-	-

Для визуализации и дальнейшего анализа взаимосвязи параметров оценки был построен биплот-график в системе двух первых факторов (рисунок 2).

Низкие коэффициенты вариации параметров натура зерна и ТПК по годам исследования и между сортами могут свидетельствовать об их генетической и экологической стабильности в исследуемом наборе сортов озимой ржи.

Озимая рожь часто подвержена прорастанию на корню, поэтому большое значение имеет оценка α -амилазной активности через связанные с ней параметры (в частности, число падения, высота амилограммы и температурный пик клейстеризации) [19, 20]. Эти же параметры в значительной степени влияют на органолептические свойства хлеба [21]. Как следует из данных таблицы 2, показатели число падения и

высота амилограммы сильно зависели от условий года, на что указывает высокая доля влияния этого фактора (около 76 %). Это совпадает с выводами, сделанными при анализе других наборов сортов в разных природно-климатических условиях [22–24].

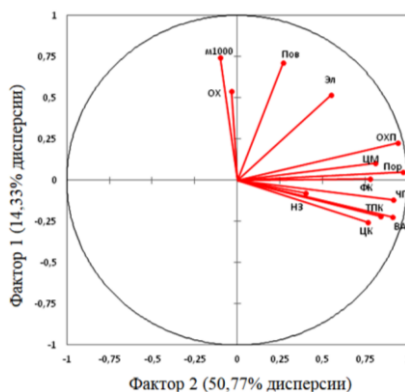


Рисунок 2 – Биplot-анализ взаимосвязей изученных признаков зерна озимой ржи в системе первых двух главных компонент, объясняющих 65,1 % общей дисперсии

Примечание. *m1000* – масса 1000 зерен; *НЗ* – натура зерна; *ЧП* – число падения; *ВА* – высота амилограммы; *ТПК* – температурный пик клейстеризации; *ПОВ* – поверхность хлеба; *ФК* – форма корки; *ЦК* – цвет корки; *ЦМ* – цвет мякиша; *ПОР* – пористость; *ЭЛ* – эластичность; *ОХ* – объем хлеба; *ОХП* – общая хлебопекарная оценка.

Так как оптимальными величинами параметра «высота амилограммы» считаются 350–645 е.а. [25], можно отметить, что состояние углеводно-амилазного комплекса в среднем для выборки сортов в семи из 21 года исследований не было оптимальным для использования зерна в хлебопечении. Однако, если учитывать принятые в ЕС требования к зерну хлебопекарного назначения (то есть, ЧП более 120 с, ВА – более 200 е.а. и ТПК – выше 63 °С [25]), то только в 2001 г. и 2019 г. средние показатели сортов не соответствовали им.

Наши данные также согласуются с выводами о широкой генотипической и модификационной изменчивости показателя высота амилограммы, к которым пришли белорусские исследователи [27] при анализе набора сортов озимой ржи и озимого тритикале, в то же время показатели температуры клейстеризации крахмала характеризовались незначительной вариабельностью и устойчивостью к изменению температурных условий выращивания.

Достаточно низкая доля влияния генотипа может объясняться тем, что подавляющее большинство изученных сортов были выведены в ФАНЦ Северо-Востока, то есть, скорее всего, они обладают большим генетическим родством. С другой стороны, высокая доля влияния условий среды косвенно подтверждает надежность сделанных в работе выводов, так как позволяет учитывать особенности развития изучаемых показателей в большом разнообразии условий проведения исследования.

Хлеб и другие хлебобулочные изделия – основные продукты, производимые из ржи [28], поэтому определение качества выпечки так же важно, как и в случае пшеницы. Хотя хлебопекарные испытания являются процедурами, занимающими много времени и труда, качество конечного продукта может быть определено непосредственно только этими процедурами. Возможность снижения числа этих процедур путем математического анализа связей технологических, хлебопекарных и органолептических качеств зерна является актуальной и достаточно сложной задачей.

Такой технологический параметр, как «натура зерна» оказался для исследуемого набора сортов озимой ржи не сопряженным с хлебопекарными свойствами или параметрами устойчивости к прорастанию зерна. Не отмечено статистически значимых связей параметров «масса 1000 зерен», «поверхность хлеба» и «объем хлеба» с какими-либо другими оцениваемыми параметрами (см. таблицу 3).

Показатель «число падения» коррелировал с показателями «высота амилограммы» и «температурный пик клейстеризации», что согласуется с данными других исследователей [27]. В нашей работе три указанных признака имели сильную корреляционную связь с большинством показателей лабораторной выпечки хлебцев ($r = 0,542-0,903$) и, как следствие, с общей хлебопекарной оценкой ($r = 0,696-0,798$). Данное наблюдение расходится с мнением [17], что критерии, характеризующие углеводно-амилазный комплекс не позволяют прогнозировать качество выпекаемого хлеба. Однако можно упомянуть мнение авторов [20], которые указывали, что, например, такой показатель как «объем хлеба» положительно коррелирует с пониженным содержанием белка, водонерастворимых пентозанов, но отрицательно с высоким содержанием водорастворимых пентозанов в ржаной муке.

Как следует из данных таблицы 4, первый фактор, объясняющий половину (50,8 %) суммарной дисперсии, определяли, главным образом, показатели устойчивости к прорастанию («число падения», «высота амилограммы», «температура клейстеризации») и большая часть показателей хлебопекарной оценки («форма и цвет корки», «пористость», «цвет мякиша» и «общая хлебопекарная оценка»), причем каждый из этих показателей способствовал увеличению фактора. Две следующие главные компоненты переменных имели примерно равные дисперсии – 14,3 и 12,4 %. Во втором по значимости факторе максимальные нагрузки имели показатели «масса 1000 зерен», «поверхность хлеба» и «эластичность», также увеличивающие фактор. Третий фактор определяли «натура зерна» (положительно связанная с величиной фактора) и «объем хлеба» (снижающие величину фактора, так как связь между ними отрицательна). Обращает на себя внимание факт примерно равной нагрузки, которую несет показатель «эластичность» во всех трех главных факторах. Это говорит о связи данного параметра со всеми остальными оцениваемыми показателями, но по вкладу этого параметра в каждый из факторов его следует отнести именно ко второму фактору. По той же логике параметр «объем хлеба» отнесен нами к третьему фактору.

Следует отметить, что в нашем исследовании такие параметры, как «натура зерна», с одной стороны, и параметры клейстеризации суспензии («высота амилограммы» и «температурный пик клейстеризации»), с другой стороны, оказались связанными с разными факторами, тогда как в проведенной в те же годы работе [2] с другим набором сортов озимой ржи (60 % которого были представлены сортами Татарского НИИСХ), данные три параметра были отнесены одному фактору. Аналогично, в нашей работе показатели «объем хлеба» и «цвет корки/цвет мякиша» принадлежат разным факторам, тогда как в работе [2] – одному и тому же, а показатель «масса 1000 зерен» для татарских сортов выделяли в отдельный компонент, тогда как в нашей работе он входил в один компонент с двумя другими показателями.

Анализ рисунка биplotа согласно разработкам [29], позволяет получить следующую информацию:

Различия между параметрами визуализируются с помощью длины вектора и косинуса угла между векторами разных параметров. Поэтому можно выделить следующие группы параметров, между векторами которых образуется почти прямой угол (указывая на отсутствие корреляции) – («масса 1000 зерен», «объем хлеба») / («общая хлебопекарная оценка», «цвет мякиша»), «поверхность хлеба»/«цвет корки».

Соответственно, в каждой паре параметров требуется разная целенаправленная селекция для разных наборов показателей.

С другой стороны, параметры, имеющие близкую по величине длину вектора и небольшой угол между этими векторами, очевидно, сильно связаны друг с другом и для общей оценки сорта использование сразу всех этих параметров будет излишним (занимать больше времени и сил). Поэтому в таких наборах показателей вполне можно провести ревизию и исключить заведомо избыточные. Можно ориентироваться на длину вектора, так как более длинный вектор соответствует параметру, имеющему больший вклад в проявление фактора. Так, в наборе параметров («общая хлебопекарная оценка», «цвет мякиша», «пористость», «форма корки») параметры «цвет мякиша» и «форма корки» имеют меньшую длину вектора, а векторы других двух параметров – более длинные и примерно одинаковые. Исходя из данных таблицы 4, они принадлежат одному и тому же фактору, то есть первые два из них могут быть исключены.

В другом наборе параметров, имеющих небольшой угол между векторами («натура зерна», «цвет корки»; «число падения»; «высота амилограммы», «температура пика клейстеризации»), все параметры, кроме натуры зерна, принадлежат одному и тому же фактору; три последние параметра тесно связаны друг с другом ($r = 0,837-0,916$) и имеют практически одинаковые факторные нагрузки ($0,843-0,914$). Связь каждого из них с параметром «цвет корки» значительно ниже ($r = 0,548-0,763$), поэтому логично использовать в селекционной работе параметры «натура зерна», «цвет корки» и один из параметров, характеризующий устойчивость зерна к прорастанию. Исходя из величин коэффициентов вариации как по годам, так и по сортам, можно предложить оставить для массовых анализов генотипов озимой ржи только параметр «высота амилограммы». Высокая вариабельность данного показателя отмечается и в работах других авторов [2, 25, 27]. Остальные параметры могут быть необходимы при проведении технологической оценки зерна, но не в ходе селекционной работы.

Выводы

В условиях восточного района центральной климатической зоны Кировской области проведена оценка параметров, которые наиболее полно характеризуют качество зерна озимой ржи. Установлено, что наиболее широкой генотипической и модификационной изменчивостью характеризовался показатель «высота амилограммы» (коэффициент вариации по сортам достигал 34,3 %, а в среднем по годам – 47,0 %). Самая низкая вариабельность отмечена для параметра «температура клейстеризации крахмала» (соответственно 4,6 и 7,1 %). Показатели натура зерна и масса 1000 зерен в изучаемом наборе сортов озимой ржи не были сопряжены с хлебопекарными свойствами и параметрами устойчивости к прорастанию зерна (число падения, высота амилограммы, ТПК). Число падения коррелировало с высотой амилограммы ($r = 0,837$) и ТПК ($r = 0,945$), при этом три указанных признака имели сильную корреляционную связь с большинством показателей лабораторной выпечки хлебцев ($r = 0,542-0,903$) и, как следствие, с общей хлебопекарной оценкой ($r = 0,696-0,798$). Показатель «эластичность» имел примерно равные факторные нагрузки во всех трех главных факторах, что говорит о связи данного параметра со всеми остальными оцениваемыми показателями, то есть его нельзя четко отнести ни к одному из комплексных параметров оценки. По результатам биplot-анализа выявлены следующие пары параметров, не коррелирующих между собой: («объем хлеба», «масса 1000 зерен») / («общая хлебопекарная оценка», цвет мякиша), «поверхность хлеба»/«цвет корки», для каждого набора показателей требуется отдельная целенаправленная селекция, так как они принадлежат разным ортогональным (несвязанным между собой) факторам. С другой стороны, параметры «общая хлебопекарная оценка», «пористость», «цвет мякиша» и «форма корки» принадлежат

одному фактору, но два последние имеют значительно меньшую длину вектора, то есть могут быть исключены из анализа. В другом наборе параметров («натура зерна», «цвет корки», «число падения», «высота амилограммы», ТПК) последние три тесно связаны друг с другом ($r = 0,837-0,916$) и имеют практически одинаковые факторные нагрузки ($0,843-0,914$). Связь каждого из них с параметром цвет корки значительно ниже ($r = 0,548-0,763$), поэтому логично использовать в селекционной работе параметры «натура зерна», «цвет корки» и только один из параметров, характеризующий устойчивость зерна к прорастаню, по нашему мнению, это параметр «высота амилограммы».

Литература

1. Гончаренко А. А. Актуальные вопросы селекции озимой ржи. М.: ФГБНУ Росинформагротех, 2014. 372 с.
2. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н. Оптимизация параметров качества зерна для селекции озимой ржи // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23(3). С. 320–327. DOI: 10.18699/VJ19.496.
3. Сысуюев В. А., Кедрова Л. И., Уткина Е. И. Значение озимой ржи для сохранения природного агроэкологического баланса и здоровья человека (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 14–20. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-1-014-020.
4. Коданев И. М. Агротехнические приемы повышения качества зерна. Горький, 1981. 46 с.
5. Потапова Г. Н., Галимов К. А., Зобнина Н. Л., Иванова М. С. Новые сорта и особенности технологии выращивания озимых зерновых культур на семена в ФГБНУ Уральский НИИСХ // Пермский аграрный вестник. 2017. № 2(18). С. 48–56.
6. Ismagilov R. R., Gaysina L. F., Ahiyarova L. M., Ayupov D. S., Nurlygayanov R. B., Ahiyarov B. G., Abdulvaleev R. R., Maljutina K. V., Ismagilov K. R., Abdulloev V. K. Crop yields and baking qualities of F1 winter rye hybrids grain in the forest-steppe of the Republic of Bashkortostan // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 13(S8). P. 6487–6493. DOI: 10.3923/jeasci.2018.6487.6493.
7. Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Сравнительная оценка показателей пластичности, стабильности и гомеостатичности сортов озимой ржи селекции ВИР по признаку масса 1000 зерен // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181(3). С. 56–63. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-56-63.
8. Żakowska-Biemans S., Kostyra E. Sensory profile, consumers' perception and liking of wheat-rye bread fortified with dietary fibre // Appl. Sci. 2023. Vol. 13. Art. No. 694. DOI: 10.3390/app13020694.
9. Сысуюев В. А., Кедрова Л. И., Рубцова Н. Е., Русаков Р. В., Устюжанин И. А., Уткина Е. И. Концептуальные направления развития научно-инновационного проекта Рожь России // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 11. С. 28–31.
10. Foschia M., Peressini D., Sensidoni A., Brennan C.S. The effects of dietary fibre addition on the quality of common cereal products // J. Cereal Sci. 2013. Vol. 58. P. 216–227. DOI: 10.1016/j.jcs.2013.05.010.
11. García-Gómez B., Fernández-Canto N., Vázquez-Odériz M.L., Quiroga-García M., Muñoz-Ferreiro N., Romero-Rodríguez M. Á. Sensory descriptive analysis and hedonic consumer test for Galician type breads // Food Control. 2022. Vol. 134. Art. No. 108765. DOI: 10.1016/j.foodcont.2021.108765.
12. Martin C., Chiron H., Issanchou S. Impact of dietary fiber enrichment on the sensory characteristics and acceptance of French baguettes // J. Food Qual. 2013. Vol. 36. P. 324–333. DOI: 10.1111/jfq.12045.
13. Sujka K., Ceglinska A., Romankiewicz D., Kacprzyk E. Wpływ dodatku błonnika na zmianę wilgotności i tekstury pieczywa pszennego w czasie przechowywania // Acta Agrophysica. 2018. Vol. 25. P. 73–84. DOI: 10.31545/aagr0006.
14. Song X., Perez-Cueto F. J. A., Bredie W. L. P. Sensory-driven development of protein-enriched rye bread and cream cheese for the nutritional demands of older adults // Nutrients. 2018. No 10. Art. No. 1006. DOI: 10.3390/nu10081006.
15. Френкель М. О., Переведенцев Ю. П., Соколов В. В. Климатический мониторинг Кировской области. Казань, 2012. 263 с.
16. Оценка качества зерна: Справочник // Сост.: И. И. Василенко, В. И. Комаров. М.: Агропромиздат, 1987. 208 с.
17. Бебякин В. М., Ермолаева Т. Я., Кулеватова Т. Б., Кулагина Т. В. Селекционная значимость критериев качества зерна озимой ржи // Международная научно-практическая конференция «Озимая рожь: селекция, семеноводство, технологии и переработка». Киров: Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 2003. С. 130–132.
18. Comrey A. L. Factor-analytic methods of scale development in personality and clinical psychology // J Consult Clin Psychol. 1988. Vol. 56. P. 754–761. DOI: 10.1037//0022-006x.56.5.754.

19. Wrigley C., Bushuk W. Rye: grain-quality characteristics and management of quality requirements // In book: Cereal grains. Woodhead Publishing. Ed. by Wrigley C., Batey I. L., Miskelly M. Cambridge, United Kingdom, 2017. P. 153–178. DOI: 10.1016/B978-0-08-100719-8.00007-3.
20. Stepińska S., Hassoon W. H., Szafrńska A., Cacak-Pietrzak G., Dziki D. Procedures for breadmaking quality assessment of rye wholemeal flour // Foods. 2019. No. 8. Art. No. 331. DOI: 10.3390/foods8080331.
21. Laidig F., Piepho H. P., Rentel D., Drobek T., Meyer U., Huesken A. Breeding progress, variation, and correlation of grain and quality traits in winter rye hybrid and population varieties and national on-farm progress in Germany over 26 years // Theoretical and Applied Genetics. 2017. Vol. 130(5). P. 981–998. DOI: 10.1007/s00122-017-2865-9.
22. Лыскова И. В., Шляхтина Е. А., Рылова О. Н. Влияние активности фермента альфа-амилазы на хлебопекарные качества озимой ржи. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014. № 3(40). С. 15–18.
23. Salmenkallio-Marttila M., Novinen S. Enzyme activities, dietary fibre components and rheological properties of wholemeal flours from rye cultivars grown in Finland // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2005. Vol. 85. P. 1350–1356. DOI: 10.1002/jsfa.2128.
24. Linina A., Kunkulberga D., Kronberga A., Locmele I. Winter rye grain quality of hybrid and population cultivars // Agronomy Research. 2019. Vol. 17(S2). P. 1380–1389. DOI: 10.15159/AR.19.058
25. Кобылянский В. Д., Солодухина О. В., Тимина М. А., Плеханова Л. В. Селекция озимой ржи на качество зерна в условиях Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2017. № 5. С. 8–14.
26. Muenzing K., Huesken A., Unbehend G., Begemann J., Arent L., Wolf K., Lindhauer M. G. Die Qualität der deutschen Roggenernte 2014 // Mühle und Mischfutter. 2014. Vol. 155. P. 745–754.
27. Шишлова Н. П., Лапутько Е. В., Шемпель Т. П. Амилографический анализ муки озимого тритикале // Физиология растений и генетика. 2013. Т. 45. № 5. С. 432–441.
28. Németh R., Tömösközi S. Rye: current state and future trends in research and applications // Acta Alimentaria. 2021. Vol. 50. No. 4. P. 620–640. DOI: 10.1556/066.2021.00162.
29. Yan W., Tinker N. A. Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications // Canadian Journal of Plant Science. 2006. Vol. 86. P. 623–645. DOI: 10.4141/P05-169.

References

1. Goncharenko A. A. Topical issues of winter rye breeding. Moscow: Rosinformagrotekh, 2014. 372 p.
2. Ponomareva M. L., Ponomarev S. N. Optimization of grain quality parameters for winter rye breeding // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019. Vol. 23(3). P. 320–327. DOI: 10.18699/VJ19.496.
3. Sysuev V. A., Kedrova L. I., Utkina E. I. Importance of winter rye for maintaining natural agroecological balance and human health (review) // Theoretical and Applied Ecology. 2020. No 1. P. 14–20. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-1-014-020.
4. Kodanov I. M. Agrotechnical methods of grain quality increasing. Gorky, 1981. 46 p.
5. Potapova G. N., Galimov K. A., Zobnina N. L., Ivanova M. S. New varieties and peculiarities of growing techniques of the winter cereals for seeds at the Federal Budget State Scientific Institution “the Ural Scientific Research Institute” // Perm Agrarian Journal. 2017. No. 2(18). P. 48–56.
6. Ismagilov R. R., Gaysina L. F., Ahiyarova L. M., Ayupov D. S., Nurligayanov R. B., Ahiyarov B. G., Abdulvaleev R. R., Maljutina K. V., Ismagilov K. R., Abdulloev V. K. Crop yields and baking qualities of F1 winter rye hybrids grain in the forest-steppe of the Republic of Bashkortostan // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 13(S8). P. 6487–6493. DOI: 10.3923/jeasci.2018.6487.6493.
7. Aniskov N. I., Safonova I. V. Comparative assessment of plasticity, stability and homeostasis based on ‘1000 grain weight’ in winter rye cultivars developed at VIR // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2020. Vol. 181(3). P. 56–63. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-56-63.
8. Żakowska-Biemans S., Kostyra E. Sensory profile, consumers’ perception and liking of wheat–rye bread fortified with dietary fibre // Appl. Sci. 2023. Vol. 13. Art. No. 694. DOI: 10.3390/app13020694.
9. Sysuev V. A., Kedrova L. I., Rubtsova N. E., Rusakov R. V., Ustyuzhanin I. A., Utkina E. I. Conceptual trends of development of scientifically-innovative project “Rye of Russia” // Achievements of Science and Technology of AIC. 2015. Vol. 29. No. 11. P. 28–31.
10. Foschia M., Peressini D., Sensidoni A., Brennan C.S. The effects of dietary fibre addition on the quality of common cereal products // J. Cereal Sci. 2013. Vol. 58. P. 216–227. DOI: 10.1016/j.jcs.2013.05.010.
11. García-Gómez B., Fernández-Canto N., Vázquez-Odériz M.L., Quiroga-García M., Muñoz-Ferreiro N., Romero-Rodríguez M. Á. Sensory descriptive analysis and hedonic consumer test for Galician type breads // Food Control. 2022. Vol. 134. Art. No. 108765. DOI: 10.1016/j.foodcont.2021.108765.
12. Martin C., Chiron H., Issanchou S. Impact of dietary fiber enrichment on the sensory characteristics and acceptance of French baguettes // J. Food Qual. 2013. Vol. 36. P. 324–333. DOI: 10.1111/jfq.12045.
13. Sujka K., Ceglinska A., Romankiewicz D., Kacprzyk E. The influence of dietary fiber on moisture and texture changes in wheat bread during storage // Acta Agrophysica. 2018. Vol. 25. P. 73–84. DOI: 10.31545/aagr0006.

14. Song X., Perez-Cueto F. J. A., Bredie W. L. P. Sensory-driven development of protein-enriched rye bread and cream cheese for the nutritional demands of older adults // *Nutrients*. 2018. No. 10. Art. No. 1006. DOI: 10.3390/nu10081006.
15. Frenkel M. O., Perevedentsev Yu. P., Sokolov V. V. Climate monitoring of the Kirov region. Kazan, 2012. 263 p.
16. Grain quality assessment: reference book // Ed. by I. I. Vasilenko, V. I. Komarov. Moscow: Agropromizdat, 1987.
17. Bebyakin V. M., Ermolaeva T. Ya., Kulevatova T. B., Kulagina T. V. Breeding value of criteria of winter rye grain quality // International Scientific and Practical Conference “Winter rye: breeding, seed growing, technologies and processing”. Kirov: Zonal Agricultural Research Institute of the North-East named after N.V. Rudnitsky, 2003. P. 130–132.
18. Comrey A. L. Factor-analytic methods of scale development in personality and clinical psychology // *J Consult Clin Psychol*. 1988. Vol. 56. P. 754–761. DOI: 10.1037//0022-006x.56.5.754.
19. Wrigley C., Bushuk W. Rye: grain-quality characteristics and management of quality requirements // In book: *Cereal grains*. Woodhead Publishing. Ed. by Wrigley C., Batey I. L., Miskelly M. Cambridge, United Kingdom, 2017. P. 153–178. DOI: 10.1016/B978-0-08-100719-8.00007-3.
20. Stepniewska S., Hassoon W. H., Szafrńska A., Cacak-Pietrzak G., Dziki D. Procedures for breadmaking quality assessment of rye wholemeal flour // *Foods*. 2019. No. 8. Art. No. 331. DOI: 10.3390/foods8080331.
21. Laidig F., Piepho H. P., Rentel D., Drobek T., Meyer U., Huesken A. Breeding progress, variation, and correlation of grain and quality traits in winter rye hybrid and population varieties and national on-farm progress in Germany over 26 years // *Theoretical and Applied Genetics*. 2017. Vol. 130(5). P. 981–998. DOI: 10.1007/s00122-017-2865-9.
22. Lyskova I., Shlyakhtina E., Rylova O. Influence of alpha amylase activity on baking qualities of winter rye // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2014. No. 3. P. 15–18.
23. Salmenkallio-Marttila M., Hovinen S. Enzyme activities, dietary fibre components and rheological properties of wholemeal flours from rye cultivars grown in Finland // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2005. Vol. 85. P. 1350–1356. DOI: 10.1002/jsfa.2128.
24. Linina A., Kunkulberga D., Kronberga A., Locmele I. Winter rye grain quality of hybrid and population cultivars // *Agronomy Research*. 2019. Vol. 17(S2). P. 1380–1389. DOI: 10.15159/AR.19.058.
25. Kobylansky V. D., Solodukhina O. V., Timina M. A., Plekhanova L. V. The selection of winter rye on the quality of grain in the conditions of Krasnoyarsk region // *Vestnik KSAU*. 2017. No. 5. P. 8–14.
26. Muenzing K., Huesken A., Unbehend G., Begemann J., Arent L., Wolf K., Lindhauer M. G. Die Qualität der deutschen Roggenernte 2014 // *Mühle und Mischfutter*. 2014. Vol. 155. P. 745–754.
27. Shishlova N. P., Laputko E. V., Shempel T. P. Amilographic analysis of winter triticale flour // *Plant Physiology and Genetics*. 2013. Vol. 45(5). P. 432–441.
28. Németh R., Tömösközi S. Rye: current state and future trends in research and applications // *Acta Alimentaria*. 2021. Vol. 50. No. 4. P. 620–640. DOI: 10.1556/066.2021.00162.
29. Yan W., Tinker N. A. Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications // *Canadian Journal of Plant Science*. 2006. Vol. 86. P. 623–645. DOI: 10.4141/P05-169.

UDC 633.14:664.746

Lyskova I. V., Lisitsyn E. M., Lyskova T. V., Shlyakhtina E. A., Rylova O. N.

INFORMATIVITY OF GRAIN QUALITY PARAMETERS FOR WINTER RYE BREEDING

Summary. Studying the informativity of the indicators used in the breeding programs and minimizing a system of criteria that determine the grain technological properties are actual for plant breeding. In the light of the above, the aim of the conducted research was twofold: assess the phenotypic variability of grain quality indicators, and then, identify the most informative ones for breeding purposes. To this end, in the period from 2001 to 2021, fifteen cultivars of winter rye were studied under field and laboratory conditions at the Falenki breeding station – branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East (Kirov region, Russian Federation). Technological, bakery and sensory parameters of grain and bread were evaluated according to generally accepted methods. Principal component analysis revealed that the parameters “test weight” and “1000-grain weight” were not associated either with bakery properties or parameters of resistance to grain germination (correlation coefficients were statistically insignificant: -0.117-0.528 and

0.051-0.378, respectively). Parameter “elasticity” had approximately equal factor loads in all three main factors (0.551, 0.516 and 0.401), i.e. it cannot be clearly attributed to any of them. In pairs of parameters (“bread volume”; “1000-grain weight”) / (“total bakery estimate”; “crumb color”), “bread surface” / “crust color”, different-aimed selection is required for each set of indicators because they are controlled by different orthogonal (independent) factors. Parameters “total bakery estimate”, “porosity”, “crumb color” and “crust shape” belong to the same factor, but the latter two have a significantly weaker factor loading (13.38; 14.27; 9.89 and 9.21, respectively); hence, they can be excluded from the analysis. Parameters “falling number”, “amylogram height” and “temperature peak of gelatinization” are closely related to each other ($r = 0.837-0.916$) and have practically the same factor loads (0.843-0.914); therefore, in breeding work, it is proposed to use only “amylogram height” as the most variable in years and cultivars ($CV = 52.0$).

Keywords: *Secale cereale* L., 1000-grain weight, test weight, falling number, amylogram, baking properties, sensory properties, principal component analysis, biplot analysis.

Лыскова Ирина Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии и качества зерна, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; 612500, Россия, Кировская область, п. Фалёнки, ул. Тимирязева, 3; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Лисицын Евгений Михайлович, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом эдафической устойчивости растений ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166а; e-mail: edaphic@mail.ru.

Лыскова Татьяна Владимировна, младший научный сотрудник лаборатории агрохимии и качества зерна, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; 612500, Россия, Кировская область, п. Фалёнки, ул. Тимирязева, 3; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Шляхтина Елена Анатольевна, научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой ржи, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; 612500, Россия, Кировская область, п. Фалёнки, ул. Тимирязева, 3; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Рылова Ольга Николаевна, младший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой ржи, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; 612500, Россия, Кировская область, п. Фалёнки, ул. Тимирязева, 3; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Lyskova Irina Vladimirovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Laboratory of agrochemistry and seed quality, Falenki Breeding Station – Branch of FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 3, Timiryazeva str., Falenki village, Kirov region, 612500, Russia; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Lisitsyn Eugeny Mikhailovich, Dr. Sc. (Biol.), leading researcher, head of the Department of plant edaphic resistance, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 166 a, Lenina str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: edaphic@mail.ru.

Lyskova Tatiana Vladimirovna, junior researcher of the Laboratory of agrochemistry and seed quality, Falenki Breeding Station – Branch of FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 3, Timiryazeva str., Falenki village, Kirov region, 612500, Russia; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Shlyakhtina Elena Anatolievna, researcher of the Laboratory of winter rye breeding and primary seed production, Falenki Breeding Station – Branch of FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 3, Timiryazeva str., Falenki village, Kirov region, 612500, Russia; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Rylova Olga Nikolaevna, junior researcher of the Laboratory of winter rye breeding and primary seed production, Falenki Breeding Station – Branch of FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 3, Timiryazeva str., Falenki village, Kirov region, 612500, Russia; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 17.07.2023.

Дата принятия к печати – 21.09.2023.

DOI 10.5281/zenodo.10141478

EDN XCFHPS

УДК 633.819: 655.53

Невкрытая Н. В.¹, Грунина Е. Н.¹, Скипор О. Б.¹, Каширина Н. А.¹, Овчарова А. Н.²,
Остренко К. С.²

**АНАЛИЗ ПЛОДОВ КОРИАНДРА ПОСЕВНОГО И ФЕНХЕЛЯ
ОБЫКНОВЕННОГО КАК ИСТОЧНИКА ФИТОБИОТИКОВ ДЛЯ
МОЛОДНЯКА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА**

¹ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»;

²ВНИИ «Физиологии, биохимии и питания животных» – филиал ФГБНУ «Федеральный
исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л. К. Эрнста»»

Реферат. В настоящее время актуальной задачей является поиск биологически активных веществ природного происхождения, стимулирующих иммунную систему, обладающих антибактериальным действием и способностью влиять на повышение переваримости кормов у сельскохозяйственных животных. Натуральными растительными биологически активными веществами – фитобиотиками являются эфирные масла. Предварительные исследования показали высокую эффективность использования эфирных масел кориандра посевного и фенхеля обыкновенного при внесении их в рацион телятам молочного периода откорма. Цель исследования – сравнительный анализ сортовых семян (категории «оригинальные») и товарных плодов кориандра посевного и фенхеля обыкновенного по массовой доле эфирного масла в сырье и содержанию в нем основных компонентов, соответственно, линалоола и анетол, для определения предпочтительности в выборе материала для данного направления использования. Проанализированы оригинальные семена сортов кориандра (Янтарь, Нектар, Медун, Силач) и фенхеля (Мэрициор и Оксамит Крыма) урожая 2018–2022 гг., а также смесь товарных плодов разных сортов каждой из культур урожая 2018–2020 гг. Анализ проведен согласно методическим рекомендациям. Массовая доля эфирного масла в сортовых плодах кориандра посевного составляет в среднем 2,41–2,88 % от абсолютно сухой массы, в сортовых плодах фенхеля обыкновенного – 4,50–4,65 %. Содержание основного компонента эфирного масла каждой из культур составляет в среднем по сортам кориандра – 68,0–71,8 % (линалоол), по сортам фенхеля – 68,5 % (анетол), что отвечает нормативам ГОСТ ISO 3516-2018 и ГОСТ 3982-02 соответственно. Анализ смесей товарных плодов изучаемых культур показал соответствие их показателям сортов. Массовая доля эфирного масла в товарных плодах кориандра – $3,01 \pm 0,05$ %, в товарных плодах фенхеля – $4,45 \pm 0,00$ %. Содержание основных компонентов в эфирных маслах из товарных плодов составило: линалоола (кориандр) – $70,2 \pm 0,1$ %, анетол (фенхель) – $68,1 \pm 1,1$ %.

Ключевые слова: кориандр посевной (*Coriandrum sativum* L.), фенхель обыкновенный (*Foeniculum vulgare* Mill.), фитобиотики, эфирное масло, линалоол, анетол.

Для цитирования: Невкрытая Н. В., Грунина Е. Н., Скипор О. Б., Каширина Н. А., Овчарова А. Н., Остренко К. С. Анализ плодов кориандра посевного и фенхеля обыкновенного как источника фитобиотиков для молодняка крупного рогатого скота // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2(34). С. 158–169. EDN: XCFHPS. DOI: 10.5281/zenodo.10141478.

For citation: Nevkrytaya N. V., Grunina E. N., Skipor O. B., Kashirina N. A., Ovcharova A. N., Ostrenko K. S. Analysis of *Coriandrum sativum* L. and *Foeniculum vulgare* Mill. fruits as a source of phytobiotics for young cattle // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 2(34). P. 158–169. EDN: XCFHPS. DOI: 10.5281/zenodo.10141478.

Введение

В животноводстве при выращивании молодняка сельскохозяйственных животных и птицы для борьбы с патогенами традиционно использовали антибиотики. У молодняка крупного рогатого скота это способствовало развитию рубца, улучшению продуктивности, снижению заболеваемости и смертности телят [1, 2]. Опасения по поводу возрастания устойчивости к антибиотикам в целом побудили ВОЗ принять решение об отказе от их использования в качестве стимуляторов роста у сельскохозяйственных животных. Потребовалось найти альтернативу антибиотикам, заменить их натуральными биологически активными веществами – фитобиотиками [1–3].

Активной областью исследований стало изучение возможности использования с этой целью эфирных масел, благодаря их способности изменять метаболизм и снижать рост бактерий [3, 4]. Одним из таких примеров является ингибирование роста *Escherichia coli*, часто встречающейся бактерии в пищеварительной системе жвачных животных [1]. Установлено, что при лечении колибактериоза использование эфирного масла из сушеных листьев душицы обыкновенной (из расчета 10 мг эфирного масла на 1 кг массы тела теленка) может быть столь же эффективным, как и применение неомицина (10 мг неомицина сульфата на 1 кг массы тела теленка) [5].

В литературе имеются сведения о положительном влиянии эфирных масел на развитие телят, проявляющемся в стимуляции аппетита, интенсификации потребления стартерного корма, повышении эффективности кормления и приростов живой массы тела, а также увеличении количества полезных бактерий в кишечной флоре [2, 6].

Установлено, что растения, содержащие эфирные масла, обладают большим потенциалом для комбинированной или альтернативной терапии респираторных заболеваний у крупного рогатого скота [7]. Эфирные масла тимьяна, эвкалипта, чайного дерева и равинтсары уже используются некоторыми практикующими ветеринарами для лечения респираторных инфекций путем перорального, местного или ректального применения. Это дало основание полагать, что использование эфирных масел и/или их смесей (в жидком виде или в виде эмульсий) будет возможной альтернативой кормовым антибиотикам: снизит послеотъемный стресс, улучшит показатели роста, здоровья и иммунитета.

При решении этой задачи важным является выбор эфирных масел с учетом их эффективности, стоимости и доступности для приобретения (объемов производства).

Широко распространенными являются эфиромасличные растения семейства Сельдерейные. Так, кориандр посевной (*Coriandrum sativum* L.) занимает в России до 90 % от всех площадей, занятых эфиромасличными культурами [8]. Основным компонентом его эфирного масла является линалоол (около 70 %). Известно, что линалоол и эфирные масла, богатые линалоолом, проявляют противомикробные, противовоспалительные, противораковые, антиоксидантные свойства [9]. Эффективность линалоола установлена на модельных животных: показано его положительное воздействие на центральную нервную систему, а также антигипералгетическое и антиноцицептивное действия [10]. Исследователи отмечают защитный и терапевтический эффекты для печени, почек и легких [11, 12]. Благодаря защитным эффектам и низкой токсичности линалоол может использоваться в качестве вспомогательного средства к противоопухолевым препаратам или антибиотикам. Таким образом, линалоол обладает большим потенциалом для применения его в качестве натурального и безопасного альтернативного терапевтического средства [12].

Родственной кориандру посевному культурой является фенхель обыкновенный (*Foeniculum vulgare* Mill.) Основным компонентом его эфирного масла является анетол

(около 70 %). Это вещество обладает мощными противовоспалительным и нейропротекторным свойствами, оказывает антиноцицептивное действие на нейропатическую боль. Исследование на мышах показало, что анетол при лечении хронической констрикционной травмы устраняет поврежденность седалищного нерва, улучшает его проводимость [13]. Установлено, что транс-анетол обладает способностью нарушать бактериальную коммуникацию и может быть рекомендован в качестве нового компонента для борьбы с *Pseudomonas aeruginosa* и другими клинически значимыми патогенами [14]. Важность анетола в лечении ожирения была доказана на мышах с ожирением, вызванным диетой с высоким содержанием жиров. Использование анетола стимулировало индукцию перехода белой жировой ткани в коричневую жировую ткань и способствовало катаболизму липидов [15]. Установлено, что добавление транс-анетола в количестве 400 мг на 1 кг корма способствует увеличению использования питательных веществ и барьерной функции кишечника бройлеров [16].

Имеющаяся информация позволила оценить актуальность и начать исследование по применению эфирных масел кориандра посевного и фенхеля обыкновенного в качестве добавок в корм молодняка крупного рогатого скота. Первый этап комплексного изучения показал положительный эффект данных биологически активных веществ. При введении их в количестве 1 мл на суточную дозу корма отмечено увеличение привеса, а также иммунного ответа, свидетельствующего об усилении неспецифической защиты организма [17–19]. Полученные положительные результаты исследований обусловили необходимость определить, какие сорта кориандра и фенхеля предпочтительно использовать как источник эфирных масел и насколько биохимические показатели товарных плодов соответствуют характеристике сортов.

Цель исследований – сравнительный анализ сортовых семян (категории «оригинальные») и товарных плодов кориандра посевного и фенхеля обыкновенного по массовой доле эфирного масла в сырье и содержанию в нем основных компонентов (линалоола и анетола соответственно) для определения предпочтительности в выборе материала для данного направления использования.

Материалы и методы исследований

Предмет исследования – накопление в плодах кориандра посевного и фенхеля обыкновенного эфирного масла и содержание в нем основных компонентов. Материал исследования – оригинальные семена кориандра посевного сортов Янтарь, Нектар, Медун, Силач, фенхеля обыкновенного сортов Мэрцишор и Оксамит Крыма урожая 2018–2022 гг. и смесь (в произвольном соотношении) товарных плодов разных сортов этих культур урожая 2018–2020 гг.

Все указанные сорта – селекции ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (НИИСХ Крыма) и включены в «Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию» РФ [20]. Первичное семеноводство сортов осуществляется в НИИСХ Крыма в соответствии с разработанной методикой для эфиромасличных культур семейства Сельдерейные [8]. Питомники размножения сортов размещены на экспериментальных участках селекционно-семеноводческого центра эфиромасличных культур НИИСХ Крыма в с. Крымская роза Белогорского района Республики Крым. Кроме того, имеются посевы для получения семян разных репродукций и товарного сырья.

Климат региона умеренно-континентальный. Территория относится к одному из пяти агроклиматических районов – верхнему предгорному, теплomu, недостаточно влажному (северный подрайон с умеренно мягкой зимой) [21].

Температурный режим и особенно количество осадков на протяжении вегетационных периодов 2018–2022 гг. (апрель–сентябрь) существенно различались (рисунок 1 и 2).

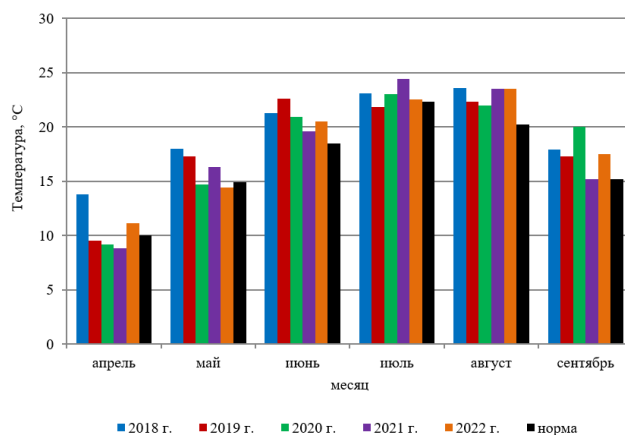


Рисунок 1 – Температурный режим в период активной вегетации растений

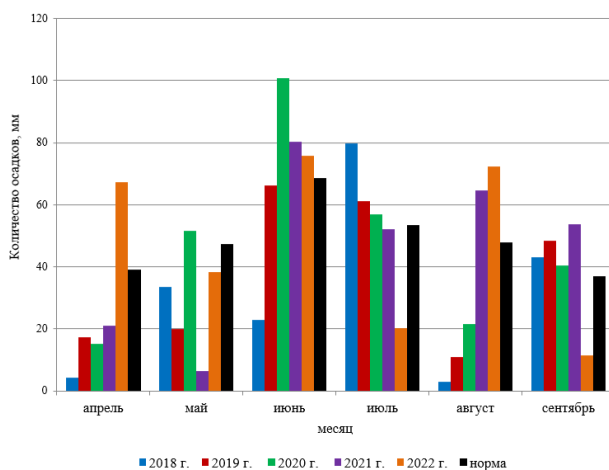


Рисунок 2 – Среднемесячное количество осадков в период активной вегетации растений

Экстремально жарким и засушливым этот период был в 2018 г. Среднемесячные температуры и количество осадков отличались от среднегодовых показателей. Близким к нему по температурному режиму, но более влажным в июне был 2019 г. В июне 2020–2022 гг. отмечены более умеренные температуры. В мае–июле и сентябре 2020 г. количество осадков превышало среднегодовые показатели. В 2021 г. превышение нормы по осадкам наблюдали в апреле, июне и августе. В 2022 г. количество осадков значительно превысило норму в апреле и августе, засушливыми были июль и август.

Определение содержания эфирного масла в плодах обеих культур проведено методом Клевенджера в соответствии с методикой биохимических исследований [22].

Компонентный состав эфирного масла определяли методом газо-жидкостной хроматографии на приборе «Кристалл 5000.2» с пламенно-ионизационным детектором (ГОСТ ISO 7609-2014. «Масла эфирные. Анализ методом газовой хроматографии на капиллярных колонках. Общий метод»). Межгосударственный стандарт). Для идентификации и полного разделения основных компонентов эфирного масла подобраны следующие условия хроматографирования: колонка капиллярная кварцевая длиной 30 м с внутренним диаметром 0,32 мм и толщиной

фазы 0,5 микрон. Неподвижная фаза – CR-WAXms. Температура термостата колонки запрограммирована в следующем режиме: 75 °С с выдержкой 1 мин., далее программирование со скоростью 4 °С/мин до 160 °С для кориандра и до 195 °С для фенхеля. Температура инжектора 230 °С, температура детектора – 250 °С. Поток газа носителя 1,9 мл/мин, деление потока газа-носителя – 1/20. Газ-носитель – гелий. Общее время анализа: 22 мин. для кориандра и 31 для фенхеля. Идентификацию компонентов проводили путем сравнения их индексов удерживания по Ковачу с литературными данными. Индексы удерживания Ковача определены по отношению к гомологическому ряду n-алканов (C8–C40) в тех же рабочих условиях [23, 24].

Проведена статистическая обработка полученных данных [25].

Результаты и их обсуждение

Результаты анализа оригинальных семян кориандра посевного разных сортов и смеси товарных плодов по содержанию и компонентному составу эфирного масла приведены в таблице 1. Согласно результатам проведенных ранее исследований, благоприятными для маслообразовательного процесса являются условия повышенного температурного режима и относительно низкой влажности в период цветения–плодообразования [8]. По сочетанию метеоусловий наиболее благоприятными были 2018, 2019 и 2021 гг., что и отразилось на содержании в плодах эфирного масла. Отмечена разница в пределах 0,26–0,58 % в содержании эфирного масла в разные годы у сортов кориандра посевного Янтарь, Нектар и Медун. У сорта Силач она выше – до 0,87 %.

Таблица 1 – Результаты анализа плодов кориандра посевного по содержанию и компонентному составу эфирного масла

Сорт/образец	Год урожая	Массовая доля эфирного масла, %*	Содержание линалоола в эфирном масле, %
Янтарь	2018	3,03 ± 0,10	70,0 ± 0,1
	2019	2,79 ± 0,05	71,0 ± 0,2
	2020	2,77 ± 0,11	67,6 ± 0,9
	2021	2,95 ± 0,04	70,6 ± 0,3
	2022	2,78 ± 0,03	69,2 ± 1,0
	среднее	2,86 ± 0,05	69,7 ± 0,6
Нектар	2018	2,94 ± 0,33	68,8 ± 0,4
	2019	2,67 ± 0,09	71,0 ± 0,3
	2020	2,72 ± 0,08	66,5 ± 0,6
	2021	2,82 ± 0,12	68,4 ± 0,8
	2022	2,36 ± 0,02	68,8 ± 1,3
	среднее	2,70 ± 0,09	68,7 ± 0,7
Медун	2018	2,94 ± 0,24	71,2 ± 0,6
	2019	2,97 ± 0,25	72,0 ± 0,4
	2020	2,90 ± 0,17	71,8 ± 0,3
	2021	2,93 ± 0,06	72,4 ± 0,1
	2022	2,67 ± 0,14	71,5 ± 0,5
	среднее	2,88 ± 0,05	71,8 ± 0,2
Силач	2018	2,43 ± 0,18	69,7 ± 0,4
	2019	2,71 ± 0,07	71,0 ± 0,3
	2020	1,84 ± 0,14	63,9 ± 0,5
	2021	2,62 ± 0,06	69,3 ± 0,6
	2022	2,45 ± 0,03	66,2 ± 0,7
	среднее	2,41 ± 0,15	68,0 ± 1,3
Смесь товарных плодов	2018–2020	3,01 ± 0,05	70,2 ± 0,1

Примечание. Здесь и далее: * – массовая доля эфирного масла, % от абсолютно сухой массы.

Самым высоким содержанием эфирного масла в плодах характеризовались сорта Янтарь и Медун – в среднем $2,86 \pm 0,05$ и $2,88 \pm 0,05$ % соответственно. Самый низкий показатель у сорта Силач – в среднем $2,41 \pm 0,15$ %.

Высокое содержание эфирного масла в смеси товарных плодов (3,01 %) объясняется тем, что в основном были использованы плоды, полученные в наиболее благоприятных погодных условиях 2018–2020 гг. Следует отметить, что кроме погодных условий на накопление эфирного масла могут влиять и условия полевого участка – его расположение, почвенные условия и пр.

Безусловно, более важным показателем в связи с целевым назначением данных эфирных масел является содержание в них основного биологически активного компонента – линалоола. По этому показателю сорта Янтарь, Нектар и Силач и смесь товарных плодов существенно не различаются. Содержание линалоола в эфирном масле, полученном из сортовых семян, составляло 68,0–69,7 %, из товарных – 70,2 %. Достоверно выше (на 2,1–3,8 %) данный показатель у сорта Медун – 71,8 %. Все показатели соответствуют нормативам ГОСТ ISO 3516-2018. «Масло эфирное из плодов кориандра (*Coriandrum sativum* L.) Технические условия».

При проведении исследований по использованию эфирного масла кориандра (как и фенхеля) в качестве натурального фитобиотика в суточную порцию кормовой смеси для телят-молочников его вводили в количестве 1 мл [18–20]. Получить эфирное масло можно из плодов любых сортов кориандра посевного, независимо от величины его массовой доли в сырье. При используемой дозировке эфирного масла в суточную порцию попадает около 0,7 мл линалоола. Небольшие различия содержания линалоола в эфирном масле разных сортов не могут иметь существенного значения. Таким образом, в данном случае биохимические показатели и зависимость их от метеоусловий приведены для характеристики сортов и сравнения их с таковыми товарных плодов. Незначительные различия по содержанию линалоола в эфирном масле также свидетельствуют об отсутствии предпочтений в выборе сорта кориандра для данного направления использования.

Аналогичные данные получены по фенхелю обыкновенному. Результаты анализа по этим показателям оригинальных семян двух сортов фенхеля и смеси товарных плодов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты анализа плодов фенхеля обыкновенного по содержанию и компонентному составу эфирного масла

Сорт/образец	Год урожая	Массовая доля эфирного масла, %	Содержание анетола, %
Мэрцишор	2018	$4,15 \pm 0,74$	$68,5 \pm 1,0$
	2019	$2,80 \pm 0,11$	$67,0 \pm 0,3$
	2020	$3,10 \pm 0,46$	$64,9 \pm 3,5$
	2021	$5,98 \pm 0,14$	$63,2 \pm 0,6$
	2022	$6,48 \pm 0,22$	$74,8 \pm 0,4$
	среднее	$4,50 \pm 0,74$	$68,5 \pm 2,0$
Оксамит Крыма	2018	$3,30 \pm 1,03$	$65,4 \pm 0,3$
	2019	$2,41 \pm 0,10$	$63,0 \pm 0,4$
	2020	$3,72 \pm 0,92$	$62,8 \pm 1,2$
	2021	$7,11 \pm 1,13$	$75,1 \pm 0,6$
	2022	$6,70 \pm 0,00$	$76,2 \pm 0,2$
	среднее	$4,65 \pm 0,95$	$68,5 \pm 3,0$
Смесь товарных плодов	2018–2020	$4,45 \pm 0,00$	$68,1 \pm 1,1$

Среднее содержание эфирного масла в оригинальных сортовых семенах сортов Мэрцишор и Оксамит Крыма составляет $4,50 \pm 0,74$ и $4,65 \pm 0,95$ % соответственно.

Более высокое накопление эфирного масла в оригинальных плодах обоих сортов (5,98–6,48 % и 64,9–74,8 % соответственно) отмечено в 2021 и 2022 гг. благодаря высокому температурному режиму в августе, когда происходило формирование и созревание плодов.

В смеси товарных плодов, сформированной из урожая 2018–2020 гг., массовая доля эфирного масла составила $4,45 \pm 0,00$ %.

Средний показатель содержания анетола в эфирном масле – 68,5 % (у сортов) и 68,1 (в товарном сырье), что соответствует нормативам ГОСТ 3902-82 «Масло эфирное фенхелевое. Технические условия».

По сравнению с кориандром зависимость содержания эфирного масла в плодах от условий года у сортов фенхеля обыкновенного более высока. У сорта Мэрцишор максимальное различие показателей по годам составляет 3,68 % (2,80–6,48 %), а у сорта Оксамит Крыма достигает 4,70 % (2,41–7,11 %). Это связано с тем, что вегетационный период фенхеля продолжительнее, чем у кориандра, плоды которого созревают в конце июля – начале августа. В период цветения – формирования плодов фенхеля в августе–сентябре 2018–2022 гг. количество осадков существенно различалось, что и оказало влияние на интенсивность накопления эфирного масла.

При проведении исследований по использованию эфирных масел кориандра или фенхеля в качестве натурального фитобиотика в суточную порцию кормовой смеси для телят-молочников их вводили в количестве 1 мл [18–20]. Получить эфирное масло можно из плодов любых сортов этих культур, независимо от величины его массовой доли в сырье. Сравнительный анализ состава эфирного масла проанализированных сортов кориандра посевого показал, что содержание линалоола в зависимости от сорта и условий года варьирует в небольшом диапазоне – 66,5–72,0 %. Бóльшая изменчивость отмечена для анетола в эфирном масле фенхеля обыкновенного – 62,8–76,2 %. Это также объясняется различием метеоусловий в годы исследований в основной период накопления эфирного масла и формирования его компонентного состава. При используемой дозировке эфирного масла в суточную порцию корма попадает около 0,7 мл основного компонента. Как показывают результаты анализа содержания основных компонентов в эфирном масле исследованных сортов и смесей плодов кориандра посевого и фенхеля обыкновенного в разные годы, точно выдержать данный параметр не представляется возможным (см. таблицы 1, 2). Небольшие различия содержания линалоола или анетола в эфирном масле разных сортов этих культур едва ли могут иметь существенное значение.

Таким образом, проведенное исследование показало, что в качестве добавки в корм телят-молочников можно применять эфирное масло кориандра посевого и фенхеля обыкновенного, независимо от того, какое сырье использовано для его получения, не отдавая предпочтения какому-либо сорту. Это тем более актуально, так как в производстве для получения эфирного масла используют именно товарное сырье.

Выводы

Проведен сравнительный анализ сортов кориандра посевого и фенхеля обыкновенного урожая 2018–2022 гг. по основным биохимическим показателям. Установлено, что массовая доля эфирного масла в плодах кориандра посевого Янтарь, Нектар, Медун и Силач находится в пределах 2,41–2,88 %, а в сортах фенхеля обыкновенного Мэрцишор и Оксамит Крыма – 4,50–4,65 %.

Содержание основного компонента эфирного масла каждой из культур (линалоола у кориандра и анетола у фенхеля) составляет в среднем у сортов кориандра 68,0–71,8 %, у сортов фенхеля – 68,5 %, что соответствует нормативам ГОСТ ISO 3516-2018 и ГОСТ 3902-82 соответственно.

Анализ смесей товарных плодов изучаемых культур урожая 2018–2020 гг. выявил соответствие их показателей таковым сортов. Массовая доля эфирного масла в среднем в товарных плодах кориандра – $3,01 \pm 0,05$ %, в товарных плодах фенхеля – $4,45 \pm 0,00$ %. Содержание основных компонентов в эфирных маслах из товарных плодов составило: линалоола (кориандр) – $70,2 \pm 0,1$ %, анетола (фенхель) – $68,1 \pm 1,1$ %.

Установлено, что в качестве добавки в корм телят–молочников можно применять эфирное масло кориандра посевного и фенхеля обыкновенного, независимо от того, какое сырье использовано для его получения, не отдавая предпочтения какому-либо сорту.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ. Проект 23-16-00052.

Литература

1. Marino M., Bersani C., Comi G. Impedance measurements to study the antimicrobial activity of essential oils from Lamiaceae and Compositae // Int. J. Food Microbiol. 2001. Vol. 67. P.187–195. DOI: 10.1016/S0168-1605(01)00447-0.
2. Santos F.H.R., De Paula M. R., Lezier D., Silva J.T., Santos G., Bittar C.M.M. Essential oils for dairy calves: effects on performance, scours, rumen fermentation and intestinal fauna // Animal. 2015. Vol. 9. P. 958–965. DOI: 10.1017/S175173111500018X.
3. Benchaar C., Calsamiglia S., Chaves A. V., Fraser G. R., Colombatto D., McAllister T. A., Beauchemin K. A. A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production // Anim. Feed Sci. Technol. 2007. Vol. 145. P. 209–228. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2007.04.014.
4. Calsamiglia S., Busquet M., Cardozo P. W., Castillejos L., Ferret A. Invited review: essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. // J. Dairy Sci. 2007. Vol. 90. P. 2580–2595. DOI: 10.3168/jds.2006–644.
5. Bampidis V. A., Christodoulou V., Florou-Paneri P., Christaki E. Effect of dried oregano leaves versus neomycin in treating newborn calves with colibacillosis // J. Vet. Med. Series A. 2006. Vol. 53. P. 154–156. DOI: 10.1111/j.1439-0442.2006.00806.x.
6. Yap P. S., Yiap B. C., Ping H. C., Lim S. H. Essential oils, a new horizon in combating bacterial antibiotic resistance // Open Microbiol. J. 2014. Vol. 8. P. 6–14. DOI: 10.2174/1874285801408010006.
7. Ayrle H., Mevissen M., Kaske M., Nathues H., Gruetzner N., Melzig M., Walkenhorst M. Medicinal plants – prophylactic and therapeutic options for gastrointestinal and respiratory diseases in calves and piglets? A systematic review // BMC Vet Res. 2016. Vol.6. Art. No. 89. DOI: 10.1186/s12917-016-0714-8.
8. Невкрытая Н. В., Кривда С. И., Золотилова О. М., Золотилов В. А., Бабанина С. С., Аметова Э. Д., Марченко М. П., Новиков И. А., Дроботова Е. Н., Кривчик Н. С., Скипор О. Б. Специализированные коллекции эфиромасличных культур ФГБУН «НИИСХ Крыма». Кориандр посевной *Coriandrum sativum* L., фенхель обыкновенный *Foeniculum vulgare* Mill. Методические рекомендации по селекции и семеноводству эфиромасличных культур семейства Сельдерейные Apiaceae L. Симферополь: Ариал, 2022. 200 с.
9. Kamatou G.P.P., Viljoen A.M. Linalool – a review of a biologically active compound of commercial importance // Natural Product Communications. 2008. Vol. 3(7). P. 1183–1192. DOI:10.1177/1934578X0800300727.
10. Peana A. T., Rubattu P., Piga G. G., Fumagalli S., Boatto G., Pippia P., De Montis M.G. Involvement of adenosine A1 and A2A receptors in (-)-linalool-induced antinociception // Life Sci. 2006. Vol. 78 (21). P. 2471–2474. DOI: 10.1016/j.lfs.2005.10.025.
11. Mazani M., Rezagholizadeh L., Shamsi S., Mahdavi-fard S., Ojarudi M., Salimnejad R., Salimi A. Protection of CCl₄-induced hepatic and renal damage by linalool // Drug and Chemical Toxicology. 2022. Vol. 45(3). P. 963–971. DOI: 10.1080/01480545.2020.1792487.
12. An Q., Ren J.-N., Li X., Fan G., Qu S.-S., Song Y., Lia Y., Pana S.-Y. Recent updates on bioactive properties of linalool // Food & Function. 2021. Vol. 12. P. 10370–10389. DOI: 10.1039/D1FO02120F.
13. Wang B., Zhang G., Yang M., Liu N., Li Y.-X., Ma H., Ma L., Sun T., Tan H., Yu J. Neuroprotective effect of anethole against neuropathic pain induced by chronic constriction injury of the sciatic nerve in mice // Neurochemical Research. 2018. Vol. 43. P. 2404–2422. DOI: 10.1007/s11064-018-2668-7.
14. Hañcer Aydemir D., Çifci G., Aviyente V., Boşgelmez-Tinaz G. Quorum-sensing inhibitor potential of trans-anethole against *Pseudomonas aeruginosa* // J. Appl Microbiol. 2018. Vol. 125(3). P. 731–739. DOI: 10.1111/jam.13892.

15. Kang N. H., Mukherjee S., Min T., Kang S.C., Yun J. W. Trans-anethole ameliorates obesity via induction of browning in white adipocytes and activation of brown adipocytes // *Biochim.* 2018. Vol.151. P. 1-13. DOI: 10.1016/j.biochi.2018.05.009.
16. Yu C., Zhang J., Zhang H., Chen Y., Wang C., Zhang L., Ding L., Wang T., Yang Z. Influence of Trans-anethole on the nutrient digestibility and intestinal barrier function in broilers // *Poultry Science.* 2021. Vol. 100(12). Art. No. 101489. DOI: 10.1016/j.psj.2021.101489.
17. Кольцов К. С., Невкрытая Н. В., Остренко К. С. Влияние эфирных масел кориандра и фенхеля на неспецифическую резистентность телят молочников // *Материалы VII Международной научно-практической конференции «Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки».* Симферополь: Ариал, 2022. С. 219–221.
18. Остренко К. С., Невкрытая Н. В. Применение продуктов переработки эфиромасличных культур в животноводстве // *Материалы VII Международной научно-практической конференции «Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки».* Симферополь: Ариал, 2022. С. 222–224.
19. Кольцов К. С., Невкрытая Н. В. Показатели неспецифической резистентности телят-молочников при применении эфирных масел кориандра и фенхеля // *Сборник материалов I Международной научно-практической конференции «Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции».* Барнаул: Алтайский ГАУ, 2023. С. 64–68.
20. Савчук Л. П. Климат предгорной зоны Крыма и эфирносы. Симферополь: Эльиньо, 2006. 76 с.
21. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений. 645 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2022/06/Реестр%20на%20допуск%202022.pdf> (дата обращения 21.06.2023).
22. Биохимические методы анализа эфиромасличных растений и эфирных масел: Сборник науч. Трудов // Сост. Карпачева А. Н., Персидская К. Г., Лиштванова Л. Н. Симферополь: Всесоюзный научно-исследовательский институт эфиромасличных культур, 1972. 107 с.
23. Зенкевич И. Г., Пименов А. И., Пожарицкая О. Н., Шиков А. Н., Макаров В. Г. Сравнение хроматографических профилей как метод идентификации компонентов лекарственного растительного сырья в комплексных препаратах // *Растительные Ресурсы.* 2003. Т. 39. Вып. 3. С. 143–152.
24. Леонтьев В. Н., Шутова А. Г., Коваленко Н. А., Супиченко Г. Н., Спиридович Е. В. Газохроматографическая идентификация эфирных масел // *Труды Белорусского государственного университета.* 2006. Т. 1. Ч. 1. С. 261–267.
25. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.

References

1. Marino M., Bersani C., Comi G. Impedance measurements to study the antimicrobial activity of essential oils from Lamiaceae and Compositae // *Int. J. Food Microbiol.* 2001. Vol. 67. P. 187–195. DOI: 10.1016/S0168-1605(01)00447-0.
2. Santos F.H.R., De Paula M. R., Lezier D., Silva J.T., Santos G., Bittar C.M.M. Essential oils for dairy calves: effects on performance, scours, rumen fermentation and intestinal fauna // *Animal.* 2015. Vol. 9. P. 958–965. DOI: 10.1017/S175173111500018X.
3. Benchaar C., Calsamiglia S., Chaves A. V., Fraser G. R., Colombatto D., McAllister T. A., Beauchemin K. A. A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production // *Anim. Feed Sci. Technol.* 2007. Vol. 145. P. 209–228. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2007.04.014.
4. Calsamiglia S., Busquet M., Cardozo P. W., Castillejos L., Ferret A. Invited review: essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. // *J. Dairy Sci.* 2007. Vol. 90. P. 2580–2595. DOI: 10.3168/jds.2006-644.
5. Vampidis V. A., Christodoulou V., Florou-Paneri P., Christaki E. Effect of dried oregano leaves versus neomycin in treating newborn calves with colibacillosis // *J. Vet. Med. Series A.* 2006. Vol. 53. P.154–156. DOI: 10.1111/j.1439-0442.2006.00806.x.
6. Yap P. S., Yiap B. C., Ping H. C., Lim S. H. Essential oils, a new horizon in combating bacterial antibiotic resistance // *Open Microbiol. J.* 2014. Vol. 8. P. 6–14. DOI: 10.2174/1874285801408010006.
7. Ayrle H., Mevissen M., Kaske M., Nathues H., Gruetzner N., Melzig M., Walkenhorst M. Medicinal plants – prophylactic and therapeutic options for gastrointestinal and respiratory diseases in calves and piglets? A systematic review // *BMC Vet Res.* 2016. Vol.6. Art. No. 89. DOI: 10.1186/s12917-016-0714-8.
8. Nevkrytaya N. V., Krivda S. I., Zolotilova O. M., Zolotilov V. A., Babanina S. S., Ametova E. D., Marchenko M. P., Novikov I. A., Drobotova E. N., Krivchik N. S., Skipor O. B. Specialized collections of essential oil crops of Research Institute of Agriculture of Crimea. *Coriandrum sativum* L., *Foeniculum vulgare* Mill. Guidelines for breeding and seed production of essential oil crops from Apiaceae family. Simferopol: Arial, 2022. 200 p.

9. Kamatou G. P. P., Viljoen A. M. Linalool – a review of a biologically active compound of commercial importance // *Natural Product Communications*. 2008. Vol. 3(7). P. 1183–1192. DOI: 10.1177/1934578X0800300727.
10. Peana A. T., Rubattu P., Piga G. G., Fumagalli S., Boatto G., Pippia P., De Montis M.G. Involvement of adenosine A1 and A2A receptors in (-)-linalool-induced antinociception // *Life Sci*. 2006. Vol. 78 (21). P. 2471–2474. DOI: 10.1016/j.lfs.2005.10.025.
11. Mazani M., Rezagholizadeh L., Shamsi S., Mahdaviard S., Ojarudi M., Salimnejad R., Salimi A. Protection of CCl₄-induced hepatic and renal damage by linalool // *Drug and Chemical Toxicology*. 2022. Vol. 45(3). P. 963–971. DOI: 10.1080/01480545.2020.1792487.
12. An Q., Ren J.-N., Li X., Fan G., Qu S.-S., Song Y., Lia Y., Pana S.-Y. Recent updates on bioactive properties of linalool // *Food & Function*. 2021. Vol. 12. P. 10370–10389. DOI: 10.1039/D1FO02120F.
13. Wang B., Zhang G., Yang M., Liu N., Li Y. X., Ma H., Ma L., Sun T., Tan H., Yu J. Neuroprotective effect of anethole against neuropathic pain induced by chronic constriction injury of the sciatic nerve in mice // *Neurochemical Research*. 2018. Vol. 43. P. 2404–2422. DOI: 10.1007/s11064-018-2668-7.
14. Hançer Aydemir D., Çifci G., Aviyente V., Boşgelmez-Tinaz G. Quorum-sensing inhibitor potential of trans-anethole against *Pseudomonas aeruginosa* // *J. Appl Microbiol*. 2018. Vol. 125(3). P. 731–739. DOI: 10.1111/jam.13892.
15. Kang N. H., Mukherjee S., Min T., Kang S.C., Yun J. W. Trans-anethole ameliorates obesity via induction of browning in white adipocytes and activation of brown adipocytes // *Biochim*. 2018. Vol.151. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.biochi.2018.05.009.
16. Yu C., Zhang J., Zhang H., Chen Y., Wang C., Zhang L., Ding L., Wang T., Yang Z. Influence of Trans-anethole on the nutrient digestibility and intestinal barrier function in broilers // *Poultry Science*. 2021. Vol. 100(12). Art. No. 101489. DOI: 10.1016/j.psj.2021.101489.
17. Koltsov K. S., Nevkrytaya N.V., Ostrenko K.S. Influence of essential oils of coriander and fennel on nonspecific resistance of calves // *Proceedings of the VII International Scientific Conference “Current State, Problems and Prospects of the Development of Agrarian Science”*. Simferopol: Arial, 2022. P. 219–221.
18. Ostrenko K.S., Nevkrytaya N.V. Application of products of processing of essential oil crops in animal husbandry // *Proceedings of the VII International Scientific Conference “Current State, Problems and Prospects of the Development of Agrarian Science”*. Simferopol: Arial, 2022. P. 222–224.
19. Koltsov K. S., Nevkrytaya N. V. Indicators of nonspecific resistance of dairy calves when using essential oils of coriander and fennel // *Collection of materials of the I International scientific and practical conference “Modern aspects of production and processing of agricultural products”*. Barnaul: Altai State Agriculatural University (ASAU), 2023. P. 64–68.
20. Savchuk L. P. The climate of the foothill areas of the Crimea and essential oil crops. Simferopol: El'in'о, 2006. 76 p.
21. State register for selection achievements admitted for usage. Vol. 1 “Plant varieties”. 645 p. [Electronic resource]. Access point: <https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2022/06/Ресстр%20на%20допуск%202022.pdf> (reference's date 21.06.2023).
22. Biochemical methods of analysis essential oil crops and essential oil: collection of proceedings // *Comp. by Karpacheva A. N., Persidskaya K. G., Lishtvanova L. N.* Simferopol: All-Union Research Institute of Essential Oil Crops, 1972. 107 p.
23. Zenkevich I. G., Pimenov A. I., Pozharitskaya O. N., Shikov A. N., Makarov V. G. Comparison of chromatographic profiles as a method for defining components of medicinal plant raw materials in complex preparations // *Plant Resources*. 2003. Vol. 39. Iss. 3. P. 143–152.
24. Leontiev V. N., Shutova A. G., Kovalenko N. A., Supichenko G. N., Spiridovich E. V. Gas chromatographic identification of essential oils // *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2006. Vol. 1. Part 1. P. 261–267.
25. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2012. 352 p.

UDC 633.81: 633.2

Nevkrytaya N. V., Grunina E. N., Skipor O. B., Kashirina N. A., Ovcharova A. N., Ostrenko K. S.
ANALYSIS OF *CORIANDRUM SATIVUM* L. AND *FOENICULUM VULGARE* MILL. FRUITS AS A SOURCE OF PHYTOBIOTICS FOR YOUNG CATTLE

Summary. *Currently, the search for biologically active substances of natural origin that stimulate the immune system and have both an antibacterial effect and ability to improve feed digestibility in farm animals, is an urgent task. Essential oils (or as they are now called “phytobiotics”) act as such natural biologically active substances. Preliminary studies*

have shown that essential oils of *Coriandrum sativum* L. and *Foeniculum vulgare* Mill. introduced into the diet of calves of the dairy fattening period are highly effective. The aim of the research was to compare *C. sativum* and *F. vulgare* fruits (original seeds and commercial grain) in terms of mass fraction of essential oil in the raw materials and content of the main components (linalool and anethole) in it to determine which one (original seeds or commercial grain) is more suitable for this direction of use. We analyzed original seeds of coriander varieties 'Yantar', 'Nektar', 'Medun', 'Silach' and fennel varieties 'Mertsishor', 'Oksamit Kryma' harvested in 2018–2022, as well as a mixture of commercial grain of different varieties of the same crops harvested in 2018–2020. The analysis was carried out according to methodological recommendations. On average, mass fraction of essential oil in the original seeds of coriander and fennel was 2.41–2.88 % and 4.50–4.65 %, respectively. Content of the main component in essential oil (linalool for coriander and anethole for fennel) averages 68.0–71.8 % and 68.5 %, which corresponds to the National Standards of the Russian Federation, namely GOST ISO 3516-2018 and GOST 3982-02. Having analyzed the mixtures of commercial grain of the studied crops, we noticed that they fully correspond to the qualitative indicators of the varieties. Mass fraction of essential oil in the commercial grain of coriander was 3.01 ± 0.05 %, in commercial grain of fennel – 4.45 ± 0.00 %. Content of the main component in essential oil (linalool for coriander and anethole for fennel) from commercial grain was 70.2 ± 0.1 %, and 68.1 ± 1.1 %, respectively.

Keywords: *Coriandrum sativum* L., *Foeniculum vulgare* Mill., phytobiotics, essential oil, linalool, anethole.

Невкрытая Наталья Владимировна, кандидат биологических наук, заведующая отделом селекции селекционно-семеноводческого центра по эфиромасличным культурам, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: nevkrityaya@mail.ru.

Грунина Елена Николаевна, научный сотрудник отдела селекции селекционно-семеноводческого центра по эфиромасличным культурам, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: elgrunina@mail.ru.

Скипор Олег Болеславович, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом эфиромасличных и лекарственных культур, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: olegskipor@mail.ru.

Каширина Наталья Александровна, научный сотрудник отдела эфиромасличных и лекарственных культур, лаборатории поддержания стабильности и качества сортов ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: natalia.kashirina.96@mail.ru.

Овчарова Анастасия Никитовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории иммуобиотехнологии и микробиологии ФГБУН «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»; 249013, Россия, Калужская область, г. Боровск п. Институт; e-mail: a.n.ovcharova@mail.ru.

Остренко Константин Сергеевич, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией иммуобиотехнологии и микробиологии, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»; 249013, Россия, Калужская область, г. Боровск, п. Институт; e-mail: ostrenkoks@gmail.com.

Nevkrytaya Natalya Vladimirovna, Cand. Sc. (Biol.), head of the Department of breeding, Center of Essential Oil Crops Breeding and Seed Production, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: nevkrityaya@mail.ru.

Grunina Elena Nikolaevna, researcher of the Department of breeding, Center of Essential Oil Crops Breeding and Seed Production, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: elgrunina@mail.ru.

Skipor Oleg Boleslavovich, Cand. Sc. (Agr.), head of the Department of essential oil and medicinal crops, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea", 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: oleg_skipor@mail.ru.

Kashirina Natalya Aleksandrovna, researcher, Laboratory for maintaining variety stability and quality, Department of essential oil and medicinal crops, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295043, Russia; e-mail: natalia.kashirina.96@mail.ru.

Ovcharova Anastasiya Nikitovna, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher, Laboratory of immunobiotechnology and microbiology, FSBSI “Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst”; Institut Settlement, town of Borovsk, Kaluga Region, 249013, Russia; e-mail: a.n.ovcharova@mail.ru.

Ostrenko Konstantin Sergeevich, Dr. Sc. (Biol.), leading researcher, head of the Laboratory of immunobiotechnology and microbiology, FSBSI “Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst”; Institut Settlement, town of Borovsk, Kaluga Region, 249013, Russia; e-mail: ostrenkoks@gmail.com.

Дата поступления в редакцию – 28.06.2023.

Дата принятия к печати – 21.09.2023.

DOI 10.5281/zenodo.10141525

EDN ZENEUO

УДК 632.4.01/08: 631.874

Нековаль С. Н., Маскаленко О. А., Муравьев В. С.

ВЛИЯНИЕ СИДЕРАТОВ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ НА ЧИСЛЕННОСТЬ ПОЧВЕННЫХ ГРИБОВ РОДА *FUSARIUM* В ЗАЩИЩЁННОМ ГРУНТЕ

ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений»

Реферат. Совместное применение сидератов и микробиологических удобрений для снижения количества патогенных микромицетов в почве является актуальной задачей в сельском хозяйстве. Цель работы – оценить влияние посевов сидератов (горчицы белой (*Sinapis alba* L.) и овса посевного (*Avena sativa*)) при совместном использовании микробиологического удобрения «Геостим» (0,3 мл/м²) и без него на содержание грибов рода *Fusarium* в почве. Исследование проводили в 2023 г. в условиях защищенного грунта в ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений» в весенний и осенний обороты. Опыт включал шесть вариантов. На опытных участках почвенные образцы отбирали три раза с интервалом два месяца и проводили микологический анализ. Результаты в контроле показали низкую супрессивность в отношении *Fusarium*. В варианте с посевом горчицы содержание КОЕ *Fusarium* снизилось на 11,6 КОЕ/г а.с.п. (95,9 %). В варианте с посевом овса количество грибов рода *Fusarium* незначительно снижалось по сравнению с контролем. Внесение удобрения «Геостим» без сидератов снизило численность фитопатогенов на 6,1 КОЕ/г а.с.п. (62,9 %). Использование препарата «Геостим» и посев горчицы усилили фунгицидное действие сидерата против грибов рода *Fusarium*, снизив содержание КОЕ/г а.с.п. на 11,9 тыс. (99,2 %), а при совместном использовании с посевом овса содержание *Fusarium* снизилось на 3,7 тыс. КОЕ/г а.с.п. (45,7 %), что свидетельствует об усилении фунгицидного эффекта овса. Спустя два месяца после посева сидератов и внесения удобрения влияние сидератов на численность *Fusarium* составило 41,1 %, влияние удобрения «Геостим» – 5,9 %, а их совместное влияние на этот показатель составило 50,4 %. Через два месяца после заделки сидератов и повторного внесения биопрепарата, влияние сидератов составляло 83,6 %, препарата «Геостим» – 4,9 %, а их взаимодействие – 9,2 %, что говорит об усилении фунгицидного эффекта при посеве сидератов и использовании препарата «Геостим».

Ключевые слова: сидераты, грибы, род *Fusarium*, «Геостим», фунгицидная активность, почвенная микробиота, овес (*Avena sativa*), горчица (*Sinapis alba* L.).

Для цитирования: Нековаль С. Н., Маскаленко О. А., Муравьев В. С. Влияние сидератов и микробиологического удобрения на численность почвенных грибов рода *Fusarium* в защищённом грунте // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3 (35). С. 170–178. EDN: ZENEUO. DOI: 10.5281/zenodo.10141525.

For citation: Nekoval S. N., Maskalenko O. A., Muraviev V. S. Effect of green manure and microbiological fertilizer on the population of fungi of the genus *Fusarium* in a greenhouse // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3(35). P. 170–178. EDN: ZENEUO. DOI: 10.5281/zenodo.10141525.

Введение

В последние годы использование защищенного грунта в России интенсивно наращивает площади и соответственно объемы производства. В результате привлечения крупных инвестиций за последние пять лет валовой сбор овощных культур в теплицах вырос почти в 2,5 раза [1]. Однако, несмотря на повсеместное

внедрение высокотехнологичных приемов в растениеводстве, использование оборудования и конструкций многие фермеры в личных подсобных хозяйствах (ЛПХ) и крестьянско-фермерских хозяйствах (КФХ), а иногда и крупные комбинаты зачастую применяют более простые сооружения и утепленный грунт. На сегодняшний день в России самым распространенным видом культивационных сооружений являются весенние теплицы, где производят большие объемы ранней продукции. В данном случае основной проблемой является защита сельскохозяйственных культур от болезней и вредителей [2].

Сельхозтоваропроизводители не всегда могут соблюдать правила севооборота в защищенном грунте, часто применяют химические средства защиты, что в итоге приводит к резкому снижению общей численности микроорганизмов в почве, уничтожению полезной микробиоты. В дальнейшем это провоцирует массовое размножение вредных организмов, негативно сказывающееся на развитии растений и урожайности сельскохозяйственных культур [3].

Среди общего числа патогенных микроорганизмов чрезвычайно высокой агрессивностью по отношению к растениям обладают грибы рода *Fusarium* [4]. Они обитают не только на растительных остатках и семенах в почве, но и могут развиваться в почве в отсутствие растения-хозяина, что снижает её супрессивность и может приводить к полной гибели сельскохозяйственных культур, а образуемые грибами токсины могут быть причиной острых и хронических интоксикаций людей и животных [5, 6].

Одним из важнейших приемов, которые влияют на устойчивость растений к болезням, способствуют увеличению урожайности, а также повышают супрессивность почвы, является применение зеленых (сидератов) и микробиологических удобрений [7].

Сидерация решает задачи севооборота и одновременно улучшает почву в условиях ограниченного пространства в теплицах. С помощью этих культур можно за короткий промежуток времени восполнить нехватку различных микро- и макроэлементов в почве, увеличить урожайность и снизить содержание патогенной микрофлоры, в частности представителей рода *Fusarium* [8].

По литературным данным, прибавка урожая от сидерации для зерновых культур варьирует от 0,4 до 1,5 т/га, овощных – от 5,0 до 14,0 т/га. Н.С. Матюк и ряд других авторов утверждают, что сидераты увеличивают продуктивность полевых севооборотов практически до 20 %. К примеру, при запашке зеленой массы пожнивной горчицы урожайность картофеля и ячменя повышалась почти на 50,0 %, а овса – более чем на 51,0 % [9]. К тому же, сидераты влияют на фитосанитарное состояние почвы. В работе Я. А. Волкова, Н. Н. Клименко и др. показано, что посев сидеральных культур способствовал значительному повышению численности микроорганизмов и почвенно-трофических групп в сравнении с вариантами, где вносили обычные удобрения [10].

Исследования других авторов показали, что при насыщении севооборота зерновыми до 80 % посевы одних и тех же культур в большей степени подвержены поражению болезнями корневых гнилей, вызываемые грибами рода *Fusarium*. Отмечено, что заделка сидератов в почву снижает поражённость растений болезнями в два раза и предотвращает недобор урожая. Это связано с тем, что зеленая масса сидератов провоцирует активное развитие сапрофитной микрофлоры, которая ускоряет разложение растительных остатков – основного субстрата, на котором развиваются возбудители корневой гнили и других болезней. Кроме этого, заделка сидератов способствует увеличению числа актиномицетов в почве, которые являются антагонистами почвенных фитопатогенов [11]. Похожие результаты получены Е.Ю. Тороповой и другими учеными, где применение сидератов – гороха, донника жёлтого и рапса способствовало трех-четырёхкратному увеличению количества КОЕ

азотфиксирующих микроорганизмов и сапротрофных грибов, а для численности фитопатогенных микроорганизмов, вызывающих корневые гнили, была выявлена отрицательная корреляция. Данные факты показывают, что разумное применение сидератов способствует поддержанию баланса почвенной микрофлоры, при этом уменьшая количество фитопатогенных возбудителей гнилей и снижая их вредоносность [12].

Кроме того, для ускорения процессов разложения растительных остатков в поверхностном слое почвы и подавления развития фитопатогенов также активно применяют микробиологические препараты. Имеются данные, доказывающие, что совместное применение сидератов с микробиологическими удобрениями увеличивает численность целлюлозолитической микробиоты, повышает супрессивность почвы, накопление азота и других питательных веществ растениями [13].

Цель исследований – оценка эффективности применения сидератов и микробиологического удобрения на численность грибов рода *Fusarium* в защищенном грунте.

Материалы и методы исследований

Опыт по изучению влияния сидератов и микробиологического удобрения «Геостим» на содержание в почве патогенной микрофлоры проводили в условиях защищенного грунта в ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений» в весенний и осенний обороты. В ходе исследования установлены закономерности влияния сидератов – горчицы и овса, а также внесения в почву удобрения «Геостим» на степень развития фитопатогенных микроорганизмов. Опыт проводили в четырёхкратной повторности с площадью опытных делянок 10 м².

Посев сидератов проводили вручную с нормой высева горчицы 0,7 г/м², овса – 20 г/м², препарат «Геостим» вносили двукратно в норме применения 0,3 мл/м² при норме расхода рабочего раствора 30 мл/м².

Отборы проб почвы осуществляли три раза согласно общепринятой методике по ГОСТ 17.4.4.02-2017: первый отбор – 15.04.2023 г. перед посевом сидератов и внесением в почву удобрения «Геостим», второй отбор – 15.06.2023 г. перед заделкой сидератов в почву и повторным внесением «Геостим» (два месяца после первой обработки), третий отбор – 15.08.2023 г. (два месяца после повторного внесения удобрения «Геостим»). Все образцы помещали в бумажные пакеты и доставляли в исследовательскую лабораторию. Микологический анализ почвы проводили по методике С.В. Еремеевой [14]. Схема опыта включала в себя шесть вариантов:

- К – контроль без посева сидератов и без внесения препарата «Геостим»;
- В1 – вариант с посевом сидерата (горчицы) без внесения препарата «Геостим»;
- В2 – вариант с посевом сидерата (овса) без внесения препарата «Геостим»;
- В3 – вариант без посева сидератов, с двукратным внесением препарата «Геостим»;
- В4 – вариант с посевом сидерата (горчицы) и двукратным внесением препарата «Геостим»;
- В5 – вариант с посевом сидерата (овса) и двукратным внесением препарата «Геостим».

Данные, полученные в результате почвенного анализа образцов, обрабатывали методами однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа [15] с повторениями при уровне значимости $\alpha = 0,05$ с использованием пакета Microsoft Office Excel 2007.

Результаты и их обсуждение

По результатам первого микологического анализа, проведённого до обработки почвы было определено, что патогенную группу грибов на опытных участках

представляли виды родов *Fusarium*, *Helmithosporium*, *Verticillium*, *Stachybotrys*, *Cladosporium*, *Cephalosporium*, *Alternaria*. При этом грибы рода *Fusarium* занимали доминирующую позицию в патогенной группе. Поэтому влияние приёмов повышения супрессивности почвы было решено оценивать на грибах рода *Fusarium*.

В контрольном варианте без внесения удобрения «Геостим» и в отсутствие посева сидератов спустя два месяца после первого отбора наблюдали снижение количества КОЕ (колониобразующих единиц) *Fusarium spp.* на 50 % и последующий рост к прежним значениям при следующем отборе, что обусловлено отсутствием факторов, препятствующих размножению *Fusarium*. На опытных делянках без обработок биопрепаратом и посевом горчицы (B1) наблюдали резкий, более чем трёхкратный рост – с 3,8 до 12,1 КОЕ/г а.с.п. (абсолютно сухой почвы) *Fusarium* в течение двух месяцев. Однако заделка сидерата в почву оказала обратный эффект: содержание фитопатогенных грибов снизилось более чем на 11,6 тыс. КОЕ/г а.с.п. (95,9 %) в пробах почвы, отобранных спустя два месяца после заделки сидератов, что, вероятно, обусловлено токсичностью веществ, содержащихся в верхней части растений горчицы по отношению к возбудителям фузариоза.

При этом в случае с посевом овса (B2) наблюдали картину, аналогичную контрольному варианту, выражающуюся в почти двукратном уменьшении количества КОЕ *Fusarium* относительно результатов почвенного анализа первого отбора и частичном восстановлении содержания фитопатогена, обнаруженное в пробах почвы третьего отбора.

Внесение в почву биопрепарата «Геостим» в отсутствие посева сидератов (B3) снижает развитие представителей *Fusarium* на 6,1 тыс. КОЕ/г а.с.п. (62,9 %) через два месяца после внесения, а также продлевает супрессивное действие почвы при повторном внесении, что выражено в увеличении на 0,6 тыс. КОЕ/г а.с.п. (16,7 %) содержания фитопатогена. В тех же условиях в отсутствие внесения в контрольном варианте происходил рост *Fusarium* на 1,8 тыс. КОЕ/г а.с.п. (85,7 %).

Совместное использование посева горчицы и микробиологического удобрения «Геостим» (B4) спустя два месяца после обработки почвы позволило значительно снизить численность грибов р. *Fusarium* на 8,1 тыс. КОЕ/г а.с.п. (67,5 %). Анализ почвы третьего отбора спустя два месяца после второй обработки почвы и заделки сидератов показал почти полное отсутствие жизнеспособных патогенных микроорганизмов при 0,1 тыс. КОЕ/г а.с.п., что является свидетельством более сильного супрессивного действия (97,4 %) в сравнении с вариантом посева горчицы без внесения биопрепарата.

В последнем варианте опыта с посевом овса и двукратным внесением удобрения «Геостим» (B5) также наблюдали снижение количества КОЕ *Fusarium* в 1 г а.с.п.: на момент второго отбора оно составило порядка 1,9 тыс. КОЕ/г а.с.п. (23,5 %), что показало меньший эффект относительно варианта без обработки почвы с сидератом. Тем не менее, повторная обработка почвы и заделка сидерата не позволяют вновь повысить количество КОЕ *Fusarium* и способствуют дальнейшему его снижению до уровня 4,4 тыс. КОЕ/г а.с.п. (рисунок).

Также для сравнения эффективности указанных вариантов внесения удобрений в почву нами была определена степень изменения численности грибов рода *Fusarium* (%) относительно исходных значений первого отбора.

С целью оценки влияния внесения микробиологического удобрения «Геостим» и заделки сидератов в почву, нами была произведена дополнительная математическая обработка экспериментальных данных в виде двухфакторного дисперсионного анализа с повторениями (таблицы 2, 3). Для корректной интерпретации результатов математической обработке подвергались данные анализов почвы второго и третьего

отбора, поскольку проявление действия «Геостим» и сидератов могло быть обнаружено только на момент указанных промежутков.

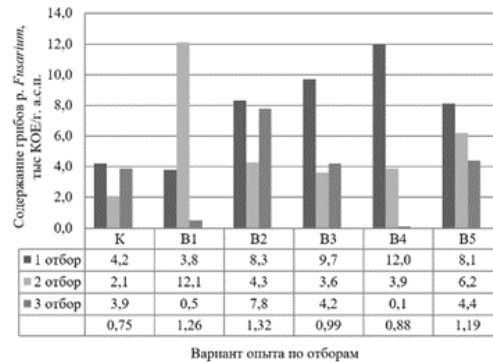


Рисунок – Динамика изменения численности грибов рода *Fusarium*

Таблица 1 – Изменение количества КОЕ грибов рода *Fusarium* (%)

Вариант	Второй отбор	Третий отбор
К	-50,0	85,7
В1	218,4	-95,9
В2	-48,2	81,4
В3	-62,9	16,7
В4	-67,5	-97,4
В5	-23,5	-29,0
НСР ₀₅	4,18	5,91

Согласно рассчитанным данным второго отбора (таблица 2), значение критерия Фишера (F) значительно превышает F критическое для обоих факторов, что свидетельствует об их значимом влиянии на результаты опыта. При этом, исходя из полученных результатов, степень влияния внесения препарата «Геостим» в почву на количество КОЕ *Fusarium* на момент второго отбора можно оценить в 5,9 %, в то время, как влияние посева сидератов на эту же величину оказалось равным 41,1 %, что указывает на то, что спустя два месяца после первой обработки почвы содержание возбудителей фузариоза в большей степени зависит от внесения микробиологического удобрения, чем от наличия сидератов. При этом доля влияния взаимодействия этих двух факторов (совместное применение удобрения «Геостим» и сидератов) равна 50,4 %, что указывает на то, что совместное использование этих двух удобрений спустя два месяца оказывает более значимый эффект, чем применение сидератов и «Геостим» по отдельности.

Таблица 2 – Данные двухфакторного дисперсионного анализа для второго отбора

Источник вариации	Среднее по факторам	F	F критическое	Доля влияния факторов, %
Фактор 1 (внесение «Геостим»)	2,86	41,33	4,41	5,5
Фактор 2 (посев сидератов)	6,18	143,72	3,55	41,1
Взаимодействие	5,38	175,97	3,55	50,4
НСР ₀₅	0,35	-	-	-

По результатам третьего отбора (таблица 3) отмечено, что критерии Фишера (F) обоих факторов значительно больше, чем F критическое, благодаря чему оба фактора

оказывают значимое влияние на количество КОЕ *Fusarium*. Оценивая влияние каждого из факторов на данный показатель, можно увидеть, что на момент третьего отбора, спустя два месяца после повторной обработки «Геостим» и заделки сидератов, внесение биопрепарата определяет количество КОЕ *Fusarium* лишь на 4,9 %, в то время, как фактор 2 в виде перепаханного посева сидератов определяет изменение численности фитопатогена на 83,6 %, что делает использование сидеральных культур наиболее важным фактором в сравнении с применением микробиологического удобрения.

Совместное использование сидератов и препарата «Геостим» оказывает небольшой эффект в 9,2 %, однако несмотря на это, эффект взаимного влияния оказывается значимым, поэтому можно сделать вывод, что микробиологическое удобрение «Геостим» усиливает действие заделанных в почву сидератов, снижая численность видов *Fusarium*.

Таблица 3 – Данные двухфакторного дисперсионного анализа для третьего отбора

Источник вариации	Среднее по факторам	F	F критическое	Доля влияния факторов, %
Фактор 1 (внесение «Геостим»)	4,03	38,09	4,41	4,9
Фактор 2 (посев сидератов)	2,18	325,17	3,55	83,6
Взаимодействие	3,47	35,73	3,55	9,2
НСР ₀₅	0,21	-	-	-

В процессе роста и развития сидератов, их влияние на патогенную микробиоту в почве оказывается достаточно значимым для повышения супрессивности почвы. При этом совместное использование с микробиологическим удобрением «Геостим» позволяет повысить супрессивность почвы. После заделки сидератов снижение количества КОЕ *Fusarium* также обеспечивается главным образом благодаря наличию сидератов. Предположительно, это связано с продукцией веществ, проявляющих фунгицидные свойства в верхних частях растений, высвобождаемых при заделке сидератов в почву вследствие их разложения микроорганизмами, а внесения удобрения «Геостим» не имеет особого влияния на супрессивность почвы.

Выводы

На основании проанализированных экспериментальных данных, наиболее выраженными фунгицидными свойствами в отношении возбудителей фузариоза обладает горчица белая. Стоит отметить, что фунгицидный эффект проявляется только после её заделки в почву и выражается в снижении количества КОЕ *Fusarium* в 1 грамме а.с.п. на 11,6 тыс. (95,9 %). Добавление к посеву горчицы удобрения «Геостим» позволяет усилить этот эффект и снизить численность *Fusarium* в почве на 11,8 тыс. КОЕ/г а.с.п. (99,2 %). Посев овса проявляет крайне слабый фунгицидный эффект – 6,0 %, близкий к почве без сидерата, при этом овёс ослабляет фунгицидный эффект препарата «Геостим», снижая его с 56,7 % до 45,7 %.

Согласно данным двухфакторного дисперсионного анализа, спустя два месяца после первого внесения удобрения «Геостим» и посева сидератов последние оказывали значительное влияние на численность *Fusarium* в почве – 41,1 %. Внесение удобрения «Геостим» в посев сидератов позволяло увеличить фунгицидный эффект, повышало степень влияния на численность *Fusarium* до 50,4 %. Заделка сидератов в почву оказала более значительное влияние на её супрессивные свойства – 83,6 %, в то время, как внесение удобрения «Геостим», как и на делянках с сидератами оказывало незначительное влияние – 4,9 % и 9,2 % соответственно.

Таким образом, использование посевов горчицы белой позволяет значительно снизить численность возбудителей фузариозной корневой гнили, а дополнительное внесение в почву микробиологического удобрения «Геостим» (0,3 мл/м²) способствует усилению этого эффекта как до заделки в почву, так и после неё. Необходимо отметить, что эффективность микробиологического удобрения «Геостим» после заделки в почву сидератов снижается, тем не менее, сохраняется его существенное влияние на снижение численности грибов рода *Fusarium*.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2021-0001.

Литература

1. Тепличный бизнес: прогноз развития отрасли защищенного грунта // Агробизнес. 2020. № 1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://trost.ru/news_articals/research_news/last_research_news_greenhouse/new_greenhouse_progect_russia/greenhouse_trends (дата обращения 25.07.2023).
2. Чернова Т. В., Огнев В. В., Авдеенко С. С., Габибова Е. Н., Корсунов Е. И. Совершенствование технологии возделывания томата и конструкции весенних теплиц для получения экологически безопасной продукции // Картофель и овощи. 2020. № 5. С. 11–16. DOI: 10.25630/PAV.2020.10.27.002.
3. Сокирко В. П. Оздоровление почв Кубани от фузариозно-альтернариозной инфекции - источник повышения урожая зерновых культур // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 53. С. 154–156.
4. Домрачева Л. И., Фокина А. И., Скугорева С. Г., Ашихмина Т. Я. Почвенные грибы рода *Fusarium* и их метаболиты: опасность для биоты, возможность использования в биотехнологии (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 1. С. 6–15. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-1-006-015.
5. Walter S., Nicholson P., Doohan F. M. Action and reaction of host and pathogen during *Fusarium* head blight disease // New Phytologist. 2010. Vol. 185. P. 54–66. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2009.03041.x.
6. Okhapkina V. Yu., Khanzhin A. A. Ecological and epidemiological significance of micromycetes of the genus *Fusarium* // Theoretical and Applied Ecology. 2012. No. 2. P. 5–14. DOI: 10.25750/1995-4301-2012-2-005-014.
7. Mishchenko Y., Kovalenko I., Butenko A., Danko Y., Trotsenko V., Masyk I., Radchenko M., Hlupak Z., Stavyskyi A. Microbiological activity of soil under the influence of post-harvest siderates // Journal of Ecological Engineering. 2022. Vol. 23. No. 4. P. 122–127. DOI: 10.12911/22998993/146612.
8. Нековаль С. Н., Беляева А. В., Маскаленко О. А., Чурикова А. К., Лукина А. Е., Горло В. Е. Перспективы производства органической продукции в России // Агрехимический вестник. 2019. № 5. С. 77–82. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10080.
9. Матюк Н. С., Гогмачадзе Г. Д., Солдатова С. С., Безуглов В. Г. Роль сидератов в экологизации и биологизации земледелия // АгроЭкоИнфо. 2010. № 1(6). С. 1.
10. Волков Я. А., Клименко Н. Н., Странишевская Е. П., Волкова М. В. Влияние посевов растений-сидератов на динамику численности микроорганизмов основных экологотрофических групп в почве виноградника // Магарач. Виноградарство и виноделие. 2019. Т. 21. № 1. С. 36–40.
11. Mishchenko Y., Kovalenko I., Butenko A., Danko Y., Trotsenko V., Masyk I., Datsko O., Hotvianska A., Galyna K., Zakharchenko E. Post-harvest siderates and soil hardness // Ecological Engineering and Environmental Technology. 2022. Vol. 23. No. 3. P. 54–63. DOI: 10.12912/27197050/147148.
12. Торопова Е. Ю., Селюк М. П., Посажеников С. Н. Влияние культурных растений на сапротрофные микроорганизмы и супрессивность почвы // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. – № 7. С. 17–20. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10704.
13. Завалин А. А., Чернова Л. С., Сапожников С. Н., Коваленко А. А. Потребление растениями азота почвы при использовании удобрения, сидерата и биопрепарата (исследования с 15N) // Российская сельскохозяйственная наука. 2019. Т. 6. С. 36–39. DOI: 10.31857/S2500-26272019636-39.
14. Плесневые грибы. Методы выделения, идентификации, хранения // Под ред. Еремеевой С. В. Астрахань: АГТУ, 2011. 111 с.
15. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) // Москва: Книга по требованию. 2012. 352 с.

References

1. Greenhouse business: forecast of the development of the protected soil industry // Agribusiness. 2020. No. 1. [Electronic resource]. Access point: https://trost.ru/news_articals/research_news/last_research_news_greenhouse/new_greenhouse_progect_russia/greenhouse_trends (reference's date 25.07.2023).

2. Chernova T. V., Ognev V. V., Avdeenko S. S., Gabibova E. N., Korsunov E. I. Improving tomato cultivation technology and spring greenhouse construction to produce ecologically safely products // Potato and Vegetable. 2020. No. 5. P. 11–16. DOI: 10.25630/PAV.2020.10.27.002.
3. Sokirko V. P. Agrobiological improvement of Kuban soils – a way to increase grain crops yield // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2015. No. 53. P. 154–156.
4. Domracheva L. I., Fokina A. I., Skugoreva S. G., Ashikhmina T. Ya. Two sides of soil fungi of the genus *Fusarium* and their metabolites: danger to biota and the possibility of use in biotechnology (review) // Theoretical and Applied Ecology. 2021. No. 1. P. 6–15. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-1-006-015.
5. Walter S., Nicholson P., Doohan F. M. Action and reaction of host and pathogen during *Fusarium* head blight disease // New Phytologist. 2010. Vol. 185. P. 54–66. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2009.03041.x.
6. Okhapkina V. Yu., Khanzhin A. A. Ecological epidemiological significance of micromycetes of the genus *Fusarium* // Theoretical and Applied Ecology. 2012. No. 2. P. 5–14. DOI: 10.25750/1995-4301-2012-2-005-014.
7. Mishchenko Y., Kovalenko I., Butenko A., Danko Y., Trotsenko V., Masyk I., Radchenko M., Hlupak Z., Stavtyskiy A. Microbiological activity of soil under the influence of post-harvest siderates // Journal of Ecological Engineering. 2022. Vol. 23. No. 4. P. 122–127. DOI: 10.12911/22998993/146612.
8. Nekoval S. N., Belyaeva A. V., Maskalenko O. A., Churikova A. K., Lukina A. E., Gorlo V. E. Perspectives of organic farming in Russia // Agrochemical Herald. 2019. No. 5. P. 77–82. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10080.
9. Matyuk N. S., Gogmachadze G. D., Soldatova S. S., Bezuglov V. G. The role of siderates in ecologization and biologization of agriculture // AgroEcoInfo. 2010. No. 1(6). P. 1.
10. Volkov Ya. A., Klimenko N. N., Stanishevskaya E. P., Volkova M. V. The impact of green manure crops on the population dynamics of major ecological and trophic groups of microorganisms in the soil of a vineyard // Magarach. Viticulture and Winemaking. 2019. Vol. 21. No. 1. P. 36–40.
11. Mishchenko Y., Kovalenko I., Butenko A., Danko Y., Trotsenko V., Masyk I., Datsko O., Hotvianska A., Galyna K., Zakharchenko E. Post-harvest siderates and soil hardness // Ecological Engineering and Environmental Technology. 2022. Vol. 23. No. 3. P. 54–63. DOI: 10.12912/27197050/147148.
12. Toropova E. Yu., Selyuk M. P., Posazhennikov S. N. Influence of cultivated plants on saprotroph microorganisms and soil suppression // Achievements of Science and Technology of the Agroindustrial Complex. 2018. Vol. 32. No. 7. P. 17–20. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10704.
13. Zavalin A. A., Chernova L. S., Sapozhnikov S. N., Kovalenko A. A. Consumption of soil nitrogen by plants in the use of fertilizer, green manure and biopreparation (study with 15n) // Russian Agricultural Science. 2019. Vol. 6. P. 36–39. DOI: 10.31857/S2500-26272019636-39.
14. Mold fungi. Methods of allocation, identification, storage // Ed. By Eremeeva S. V. Astrakhan: Astrakhan State Technical University, 2011. 111 p.
15. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2012. 352 p.

UDC 632.4.01/.08: 631.874

Nekoval S. N., Maskalenko O. A., Muraviev V. S.

EFFECT OF GREEN MANURE AND MICROBIOLOGICAL FERTILIZER ON THE POPULATION OF FUNGI OF THE GENUS *FUSARIUM* IN A GREENHOUSE

Summary. *Combined use of green manure and microbiological fertilizers to reduce the number of pathogenic micromycetes in the soil is an urgent task in agriculture. The aim of the research was to evaluate the effect of green manure crops (*Sinapis alba* L. and *Avena sativa*) with and without joint use of microbiological fertilizer “Geostim” (0.3 ml/m²) on the content of fungi of the genus *Fusarium* in soil. The experiment was carried out in 2023 in FSBSI “Federal Research Center of Biological Plant Protection” under conditions of the greenhouse both in spring and in autumn. The experiment included six options. In the experimental plots, soil samples were taken thrice with a two-months interval; then, mycological analysis was carried out. The results in the control showed low suppressiveness against *Fusarium*. In the option with mustard, the content of *Fusarium* CFU decreased by 11.6 CFU/g of absolutely dry soil (95.9 %). In the option with oats, the content of *Fusarium* fungi was slightly lower than in the control. “Geostim” application without green manure reduced the number of the phytopathogen by 6.1 CFU/g of absolutely dry soil (62.9 %). “Geostim” combined with mustard enhanced the fungicidal effect of green manure*

against *Fusarium* fungi reducing the content of CFU per gram of absolutely dry soil by 11.9 thousand (99.2%); in case of combination it with oats, *Fusarium* content decreased by 3.7 thousand CFU per gram of absolutely dry soil (45.7 %) indicating an increase in the fungicidal effect of oats. Two months after green manure sowing and fertilization, effect of green manure on the number of *Fusarium* was 41.1 %, effect of “Geostim” – 5.9 %, their combined effect on this indicator – 50.4 %. And in two months after green manure incorporation and repeated application of the biological product, effect of green manure was 83.6 %, effect of “Geostim” – 4.9%, their combined effect – 9.2 %; this indicates an increase in the fungicidal effect of combination of green manure and microbiological fertilizer “Geostim”.

Keywords: green manure, fungi, *Fusarium*, “Geostim”, fungicidal activity, soil microbiota, oats (*Avena sativa*), mustard (*Sinapis alba* L.).

Нековаль Светлана Николаевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией биорациональных средств и технологий защиты растений для ведения экологизированного, ресурсосберегающего и органического сельского хозяйства, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039, Россия, Краснодарский край, г. Краснодар, п/о 39; e-mail: s.nekoval@yandex.ru.

Маскаленко Оксана Александровна, научный сотрудник лаборатории биорациональных средств и технологий защиты растений для ведения экологизированного, ресурсосберегающего и органического сельского хозяйства, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039, Россия, Краснодарский край, г. Краснодар, п/о 39; e-mail: d.o.a.123@mail.ru.

Муравьев Вячеслав Сергеевич, младший научный сотрудник лаборатории биорациональных средств и технологий защиты растений для ведения экологизированного, ресурсосберегающего и органического сельского хозяйства, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039, Россия, Краснодарский край, г. Краснодар, п/о 39; e-mail: slava.muravev.1996@mail.ru.

Nekoval Svetlana Nikolaevna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher, head of the Laboratory of biorational means and technologies of plant protection for ecological, resource-saving and organic agriculture, FSBSI “Federal Research Center of Biological Plant Protection”; post office No. 39, Krasnodar, Krasnodar Krai, 350039, Russia; e-mail: s.nekoval@yandex.ru.

Maskalenko Oksana Aleksandrovna, researcher, Laboratory of biorational means and technologies of plant protection for ecological, resource-saving and organic agriculture, FSBSI “Federal Research Center of Biological Plant Protection”; post office No. 39, Krasnodar, Krasnodar Krai, 350039, Russia; e-mail: d.o.a.123@mail.ru.

Muraviev Vyacheslav Sergeevich, junior researcher, Laboratory of biorational means and technologies of plant protection for ecological, resource-saving and organic agriculture, FSBSI “Federal Research Center of Biological Plant Protection”; post office No. 39, Krasnodar, Krasnodar Krai, 350039, Russia; e-mail: slava.muravev.1996@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 03.08.2023.

Дата принятия к печати – 20.09.2023.

DOI 10.5281/zenodo.10141645
EDN YPCVMM
УДК 633.13

Радченко Л. А., Ганоцкая Т. Л.

ОЦЕНКА АДАПТИВНОСТИ СОРТОВ ОВСА ЗИМУЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ СТЕПНОГО КРЫМА

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. Основные площади посевов овса размещены в областях с умеренным и влажным климатом, где его высевают весной. В районах с мягкими теплыми зимами овес можно высевать как озимую культуру. В Республике Крым зимующие сорта овса ранее не возделывали. Цель работы – провести сравнительную оценку продуктивности сортов овса зимующего в условиях Республики Крым и определить оптимальные сроки сева для наиболее адаптивных. Исследования проводили в центральной степной зоне Крыма в 2017–2023 гг. Метеорологические условия за годы сортоизучения были контрастными, что позволило оценить адаптивность сортов как в благоприятном 2020 ($I_j = +0,53$), так и неблагоприятных 2018, 2019 и 2021 гг. ($I_j = -0,50, -0,03$ и $-0,13$ соответственно). В опыте по сортоизучению оценивали продуктивность шести сортов овса зимующего селекции ФГБНУ «Адыгейский научно-исследовательский институт сельского хозяйства». Выделенные по результатам четырехлетних исследований сорта Верный и Мезмай высевали в 2021–2023 гг. в четыре срока – с первого октября по 15 ноября с интервалом 15 дней. Проведенные исследования позволили выделить наиболее продуктивные для условий Крыма сорта овса зимующего – Верный и Мезмай, которые в среднем за четыре года обеспечили урожайность зерна 2,73 и 2,74 т/га соответственно. Также они превосходили (на 0,12–0,63 т/га) другие, изучаемые в опыте сорта. Исходя из реакции сортов на условия среды и оценку экологической пластичности, которая составила $b_i = 1,02$ у сорта Верный и $b_i = 1,03$ у сорта Мезмай, их можно отнести к сортам универсального типа, которые незначительно снизят урожайность при неблагоприятных условиях и обеспечат высокий урожай при благоприятных. В условиях 2022 г. максимальную урожайность сорта Верный и Мезмай формировали при посеве 30 октября (5,60 и 5,13 т/га соответственно), в 2023 г. – при посеве 15 октября (Верный – 5,35, Мезмай – 4,79 т/га).

Ключевые слова: овес (*Avena sativa* L.) зимующий, сорт, продуктивность, коэффициент пластичности, срок сева, урожайность.

Для цитирования: Радченко Л. А., Ганоцкая Т. Л. Оценка адаптивности сортов овса зимующего в условиях степного Крыма // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3 (35). С. 179–188. EDN: . YPCVMM. DOI: 10.5281/zenodo.10141645.

For citation: Radchenko L. A., Ganotskaya T. L. Evaluation of wintering oats varieties adaptability under conditions of steppe Crimea // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3(35). P. 179–188. EDN: YPCVMM. DOI: 10.5281/zenodo.10141645.

Введение

Овес (*Avena sativa* L.) – одна из самых распространенных и ценных зерновых культур в мировом клине производства зерна. Его посевные площади достигают 20 млн га [1]. Зерно этой культуры используют в рационе питания во многих отраслях животноводства. Один килограмм зерна овса считают за одну эталонную кормовую единицу [2, 3].

Основные регионы, где высевают овес, находятся в областях с умеренным и влажным климатом. В основном эта культура весеннего сева. Однако, несмотря на

отсутствие истинных озимых сортов овса, в зонах с теплыми и мягкими зимами его также можно использовать как озимую культуру. Сорта, которые сеют осенью, называют зимующими [2, 4].

Исследования, проведенные на опытных и производственных посевах, показали, что в южно-предгорной зоне Северо-Западного Кавказа зимующий овес оказался более перспективной и урожайной культурой, чем яровой. Благодаря осеннему посеву, растения избегают проблем весенних засух и меньше повреждаются вредителями, такими как шведская муха и пиявица [5]. По сравнению с яровым овсом, зимующий формирует урожай зерна и вегетативной массы в 1,5–2,0 раза выше [5, 6]. При укосе до наступления фазы выметывания, он заново отрастает, позволяя получить или второй укос, или зерно. Такое двойное использование зимующего овса экономически выгодно [7]. Еще одним фактом в пользу зимующих сортов является срок созревания – зимующий овес достигает физиологической спелости раньше яровых сортов и поэтому формирует более выполненное и полновесное зерно [5].

ФГБУН «Адыгейский научно-исследовательский институт сельского хозяйства» (Адыгейский НИИСХ) начал заниматься селекционной работой с зимующим овсом с 1965 г. Институт находится у северной границы области, где возможно выращивание этой культуры [4, 8]. Ввиду отсутствия зимующих сортов овса в Реестре селекционных достижений Украины, в Республике Крым их ранее не возделывали и не изучали, хотя они представляют определенный интерес, особенно для животноводческих предприятий.

Для успешного выращивания культуры в новой зоне необходимы сорта, способные обеспечивать стабильно высокую урожайность за счет эффективного использования почвенных и климатических условий конкретного региона и устойчивости к стрессовым факторам окружающей среды [9]. Выбор таких сортов, адаптивных к агроклиматическим условиям региона, является одним из основных подходов к получению стабильных урожаев с заданными качественными характеристиками [10, 11]. Поэтому в первую очередь необходимо оценить экологическую адаптивность сортов зимующего овса в условиях Крымского региона и выбрать лучшие генотипы.

После такой оценки для рекомендации сортов новой для региона культуры целесообразно оптимизировать агротехнику возделывания [12]. Одним из основных элементов технологии возделывания озимых культур, влияющим на урожайность, является срок сева. В различных регионах оптимальные сроки посева варьируют с конца июля до середины октября, и могут сильно отклоняться в пределах одного региона и даже области [13]. Исследования по оптимизации сроков сева озимой пшеницы в Крыму показали, что в условиях региона (при сильном варьировании климатических показателей) их необходимо ежегодно корректировать в соответствии со сложившимися погодными условиями. Самый высокий сбор зерна озимой пшеницы в зависимости от условий вегетационного сезона был при посеве в разные сроки: в 2018 г. – при посеве 15 октября, в 2019 г. первого октября, в 2020 г. – 15 ноября [14].

Цель исследований – выбор адаптивных к условиям степной зоны Крыма зимующих сортов овса и оптимизация сроков сева для лучших генотипов.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2017–2023 гг. на опытном поле ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», расположенном в центральной степной зоне полуострова Крым (с. Клепинино, Красногвардейский район).

Почва – чернозем южный, слабо гумусированный, развитый на четвертичных желто-бурых лессовидных легких глинах со следующими агрохимическими характеристиками: содержание гумуса (по Тюрину) – 2,4–2,7 %, легкогидролизуемого

азота – 5,2 мг/100 г абсолютно сухой почвы, фосфора и калия – 1,0–2,5 мг и 42 мг/100 г почвы соответственно, кислотность – 7,7–7,9 ед. рН (ГОСТ 26483-85) [15].

Климат района проведения исследований – континентальный, засушливый, с большой амплитудой годовых колебаний температуры воздуха и атмосферных осадков. Среднегодовая температура воздуха составляет 10,2 °С. Самый холодный месяц – февраль, с температурой воздуха от –2,3°С до 0 °С, в отдельные годы она может снижаться до –20°С. Глубина промерзания почвы обычно не превышает 20–30 см. В летний период температурный режим находится в пределах 20–24 °С, в отдельные годы максимальная температура воздуха может достигать 35–39 °С. Гидротермический коэффициент (ГТК, по Г. Т. Селянинову) составляет 0,5–0,7. Среднегодовое количество осадков достигает 426 мм [16]. Согласно многолетним данным, каждый третий год является засушливым.

Метеорологические условия в годы изучения были контрастными и в полной мере отражали вариабельность климатических характеристик региона исследований. Достаточное количество осадков в осенний период (131 мм) отмечали лишь в 2018 г. В остальные годы сумма осадков в этот период была в 1,9–2,7 раза меньше, а среднесуточная температура воздуха превышала норму на 1–7 °С. Повышенный температурный фон в осенние месяцы способствовал позднему прекращению осенней вегетации в 2017/18 сельскохозяйственном году – девятого января 2018 г. или полному отсутствию зимнего покоя растений – в 2018/19, 2019/20 вегетационных сезонах. В целом, условия для перезимовки озимых были благоприятными в течение всех четырех лет сортоиспытания. К периоду возобновления весенней вегетации в 2018/19 г. количество продуктивной влаги в метровом слое почвы достигало 150 мм и классифицировалось как хорошее. В остальные годы отмечали недостаточное количество продуктивной влаги (до 100 мм) в метровом горизонте. В эти годы отмечали весенние засухи при ГТК 0,29; 0,25 и 0,63.

Условия вегетационных периодов 2021/22 и 2022/23 гг. были благоприятными с выпадением осадков в основные критические фазы развития растений, однако условия осени были засушливыми.

Исследования проводили в 10-польном севообороте по предшественнику черный пар. Подготовка предшественника и технология возделывания – общепринятая для выращиваемых озимых зерновых культур в регионе [17]. Учётная площадь делянок составляла 25 м². Размещение делянок систематическое в четырёхкратной повторности. Уборку урожая проводили комбайном Wintersteiger Classic в фазе полной спелости зерна с последующим взвешиванием. Проведение полевых опытов сопровождалось наблюдениями, учетами, измерениями и анализами согласно методике Госсортоиспытания [18].

Опыт по сортоизучению и скринингу параметров экологической адаптивности выполняли в 2017–2021 гг. Материалом для исследования служили шесть сортов овса зимующего селекции Адыгейского НИИСХ – Верный, Оштен, АРУ-75, Гузерипль, Подгорный и Мезмай. Посев осуществляли в 2017 и 2020 гг. в третьей декаде октября, в 2018 и 2019 гг. – в конце второй декады.

Эксперимент по оптимизации сроков сева для зимующих сортов овса выполняли в 2021–2023 гг. В опыт вовлекли выделенные по результатам 4-х летних исследований лучшие высокопродуктивные адаптивные к условиям региона контрастные по продолжительности вегетационного периода сорта Верный и Мезмай. Всего было четыре срока сева – с 1 октября по 15 ноября с интервалом 15 дней.

Статистическую обработку полученных урожайных данных проводили методом дисперсионного анализа согласно методическим рекомендациям Б.А. Доспехова [19].

Индексы условий среды рассчитывали по уравнениям регрессии S. A. Eberhart, W. A. Russel [20]. Экологическую пластичность (коэффициент регрессии, b_i), отражающую реакцию генотипа на улучшение или ухудшения условий среды, отклик и стабильность (среднеквадратичное отклонение от линии регрессии, σ^2), характеризующую устойчивость формирования уровня урожайности в разных средах определяли по методике S. A. Eberhart, W. A. Russel в изложении В. З. Пакудина [21]. Теоретическую урожайность сортов овса рассчитывали на основании коэффициента регрессии. Под коэффициентом экологической вариации (CV_{ecol}) понимали коэффициент вариации урожайности сорта по годам, рассчитанный по Б. А. Доспехову [19].

Результаты и их обсуждение

Своевременные всходы овса зимующего были получены только в 2018 г. – через 10 дней после посева. В 2017 г. всходы появились через 20, а в 2019 и 2020 гг. – через 62 и 32 дня соответственно.

Дата наступления фазы вымётывания сортов зависела как от погодных условий в период вегетации, так и от особенностей сорта. В 2018 г. наступление этой фазы отмечали с восьмого по 11 мая, в 2019 г. – с 17 по 23 мая, в 2020 г. – с 18 по 25 мая, в 2021 г. – с 20 по 27 мая.

При расчете значений индекса среды (I_j) годы изучения были дифференцированы на благоприятные для формирования урожайности (2020 г., $I_j = 0,53$) и неблагоприятные (2018 г., $I_j = -0,50$; 2019 г., $I_j = -0,03$; 2021 г., $I_j = -0,13$) (таблица 1).

В благоприятном 2020 г. самый высокий сбор зерна обеспечил сорт Мезмай – 3,42 т/га, превысив другие сорта на 0,30–0,86 т/га. Худшим в этот год оказался сорт Подгорный, сформировав урожайность на уровне 2,56 т/га. В худших за четыре года условиях (2018 г.) сорт Мезмай также показал наибольшую урожайность, снизив ее, по сравнению с 2020 г., на 1,06 т/га. Худшим сортом в этот год оказался сорт Оштен, обеспечив сбор зерна на уровне 1,69 т/га. В среднем за четыре года, различия между сортами стали менее выраженными. По-прежнему лидировал сорт Мезмай и к нему добавился сорт Верный, которые формировали урожайность на одном уровне – 2,74 и 2,73 т/га, что выше показателей других сортов на 4,6–23,2 % (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Урожайность и экологическая пластичность сортов зимующего овса

Сорт	Урожайность за годы исследований, т/га				Y_i	CV_{ecol} , %
	2018	2019	2020	2021		
Верный	2,03	3,12	3,12	2,63	2,73	19,0
Оштен	1,69	2,12	3,02	2,50	2,33	24,3
АРУ-75	1,95	2,96	3,01	2,51	2,61	18,9
Гузерипись	2,07	2,37	3,21	2,13	2,45	21,5
Подгорный	2,03	1,69	2,56	2,13	2,10	17,1
Мезмай	2,36	2,69	3,42	2,48	2,74	17,3
Средняя Y_j	2,00	2,50	3,10	2,40	Y 2,52	
I_j	-0,50	-0,03	+0,53	-0,13	-	
HCp_{05}	0,36	0,43	0,22	0,24	-	

Примечание. I_j – индекс условий среды, Y_i – средняя по годам урожайность генотипа, Y_j – средняя по году урожайность выборки, CV_{ecol} – коэффициент экологической вариации.

Для комплексной оценки способности того или иного генотипа формировать экономически значимую продукцию в регионе исследований рассчитывают ряд параметров, которые отражают экологическую адаптивность [22–24] – коэффициент экологической вариации, пластичность, стабильность, теоретическая урожайность.

По экологической вариации (CV_{ecol}) изменчивость урожайности всех образцов, кроме сортов Оштен и Гузерипись (сильная изменчивость более 20 %), была средней и не сильно отличалась по сортам.

Следующими расчетными показателями экологической адаптивности были пластичность (b_i) и стабильность (σd^2). В опыте максимальной отзывчивостью на улучшение условий выращивания характеризовался сорт Оштен ($b_i = 1,30$), что свидетельствует о его требовательности к благоприятным условиям среды. Однако у этого же генотипа отмечали большую разницу между благоприятным и худшим годом (-1,33 т/га), что относит его к сортам не пригодным к выращиванию в условиях континентального, засушливого климата степной зоны Крыма (таблица 2). В экспериментах, проведенных в Южно-предгорной зоне Северо-Западного Кавказа, напротив, урожайность сорта Оштен была выше сортов Мезмай и Верный на 0,48–0,51 т/га [12], что еще раз подтверждает факт необходимости сортоизучения и подбора лучших генотипов для каждого региона.

Сорта Ару-75 и Подгорный, коэффициент пластичности которых был меньше единицы ($b_i = 0,99$ и $0,55$), отнесены к экстенсивным при низком уровне стабильности ($\sigma d^2 = 0,19$ – $0,22$).

Сорта же с наибольшей средней урожайностью Верный и Мезмай, экологическая пластичность которых составляла $b_i = 1,02$ и $1,03$ соответственно, можно отнести к сортам универсального типа, а высокий сбор зерна на уровне 2,73–2,74 т/га свидетельствует о пригодности к выращиванию в условиях региона.

Чем меньше квадратическое отклонение фактических показателей от теоретически ожидаемых (коэффициент стабильности), тем стабильнее сорт. При сравнении по этому критерию двух лучших сортов Верный и Мезмай между собой ($\sigma d^2 = 0,24$ и $0,04$ соответственно), более стабильным оказался сорт Мезмай (см. таблицу 2).

Охарактеризованные параметры экологической адаптивности могут служить некоторым ориентиром прогноза урожайности этих сортов в условиях региона.

Таблица 2 – Теоретическая урожайность сортов зимующего овса и коэффициент стабильности

Сорт	Теоретическая урожайность, т/га				Отклонение фактических урожаев от теоретических, т/га				Стабильность, σd^2	b_i
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.		
Верный	2,2	2,7	3,3	2,6	-0,18	0,43	-0,15	0,03	0,24	1,02
Оштен	1,7	2,3	3,0	2,2	0,01	-0,17	0,00	0,33	0,03	1,30
АРУ-75	2,1	2,6	3,1	2,5	-0,16	0,38	-0,13	0,03	0,19	0,99
Гузерибль	1,9	2,4	3,0	2,3	0,18	-0,04	0,17	-0,17	0,06	1,11
Подгорный	1,8	2,1	2,4	2,0	0,20	-0,40	0,17	0,10	0,22	0,55
Мезмай	2,2	2,7	3,3	2,6	0,14	-0,01	0,13	-0,13	0,04	1,03

В опыте по оценке фактической урожайности и параметров экологической адаптивности показано, что для степного Крыма наибольший интерес представляют сорта универсального типа – Верный и Мезмай. Эти два сорта вовлечены в следующий этап работы по оптимизации сроков сева зимующих сортов овса.

Всходы растений овса на первых двух сроках сева были получены своевременно как в 2021 (через 10 и 12 дней соответственно), так и в 2022 гг. (через 10 дней) (таблица 3). Растения третьего и четвертого сроков, вследствие отсутствия влаги осенью 2021 г., взошли через 30 и 40 дней после посева, в 2022 г. – через 13 и 15 дней соответственно.

Фаза выметывания метелки овса зимующего зависела от сорта и условий года. Сорт Верный, относящийся к раннеспелой группе, начинал выметывание в 2022 г. 17.05, 20.05, 21.05, 25.05 в зависимости от сроков сева. Повышенный температурный режим весеннего периода 2023 г. способствовал более раннему наступлению фазы выметывания у сорта Верный – 8.05; 9.05; 16.05 и 18.05 соответственно. Сорт Мезмай

начинал выметывание на пять дней позднее в условиях 2022 г., на 10 (при посеве 01.10 и 15.10) и пять дней (при посеве 30.10 и 15.11) – в 2023 г.

Таблица 3 – Даты наступления основных фенофаз развития сортов овса зимующего

Срок сева	2021/2022 сельскохозяйственный год				2022/2023 сельскохозяйственный год			
	дата всходов	продолжительность периода посева – всходы, дней	дата выметывания		дата всходов	продолжительность периода посева – всходы, дней	дата выметывания	
			Верный	Мезмай			Верный	Мезмай
01.10	11.10	10	17.05	22.05	11.10	10	08.05	18.05
15.10	27.10	12	20.05	25.05	25.10	10	09.05	19.05
30.10	01.12	30	21.05	26.05	13.11	13	16.05	21.05
15.11	25.12	40	25.05	30.05	01.12	15	18.05	23.05

Основными показателями продуктивности овса является густота продуктивного стеблестоя и масса зерна с метелки. В 2022 г. наибольшее количество продуктивных стеблей на 1 м² формировалось при посеве первого и 15 октября и составляло в среднем по сортам 673 и 603 шт./м², при более поздних сроках сева густота продуктивного стеблестоя была достоверно ниже (таблица 4).

В условиях 2023 г. продуктивный стеблестой варьировал от 535 до 638 шт./м² и был в пределах ошибки опыта для всех сроков сева, однако максимальной густота была при посеве 15 ноября (648 шт./м²), что объясняется выпадением продуктивных осадков в апреле, когда растения более ранних сроков сева перешли в фазу трубкования, а растения поздних сроков еще продолжали кущение.

Масса зерна с метелки была в среднем 1,2 г в условиях 2022 г. и не зависела от сроков сева, и 0,9 г в 2023 г. с тенденцией увеличения в ранние сроки.

Таблица 4 – Показатели продуктивности сортов зимующего овса при разных сроках сева

Срок сева (А)	Сорт (В)	2022 г.			2023 г.		
		количество продуктивных стеблей, шт./м ²	масса зерна с метелки, г	урожайность, т/га	количество продуктивных стеблей, шт./м ²	масса зерна с метелки, г	урожайность, т/га
01.10	Верный	609	1,2	5,39	578	1,0	5,32
	Мезмай	597	1,2	4,89	503	0,9	4,45
	Средняя	603	1,2	5,14	541	1,0	4,89
15.10	Верный	704	1,0	5,06	645	1,0	5,35
	Мезмай	642	1,2	4,75	491	1,0	4,79
	Средняя	673	1,1	4,91	568	1,0	5,07
30.10	Верный	464	1,1	5,60	525	0,8	4,41
	Мезмай	545	1,2	5,13	544	0,7	3,87
	Средняя	505	1,2	5,37	535	0,8	4,14
15.11	Верный	438	1,3	3,16	659	0,8	4,30
	Мезмай	320	1,3	4,06	636	0,9	3,88
	Средняя	379	1,3	3,61	648	0,9	4,09
НСР ₀₅	А	154	0,3	0,37	162	0,2	0,32
	В	109	0,2	0,26	114	0,1	0,23
	А×В	218	0,4	0,52	229	0,3	0,45

Максимальная средняя урожайность – 5,37 т/га в условиях 2022 г. и 5,07 в 2023 г. формировалась при посеве 30 и 15 октября соответственно. Незначительно (в пределах ошибки опыта) отличалась урожайность овса при посеве 1 октября – 5,14 и 4,89 т/га в изучаемые годы соответственно. Посев в поздний срок обеспечивал

минимальную урожайность как в 2022, так и 2023 гг. Сорт Верный был более урожайным в сравнении с сортом Мезмай во все сроки сева в годы изучения. В экспериментах по оптимизации сортовой агротехники зимующего овса, проведенных в Южно-предгорной зоне Северо-Западного Кавказа показано, что лучшим сроком сева для сортов зимующего овса, в том числе и сортов Мезмай, Подгорный и Гузерипль, был ранний посев 15–20 сентября [12]. В условиях степной зоны Крыма из-за недостатка осадков и высокой температуры воздуха эта дата сдвинута почти на месяц.

Выводы

Проведенные исследования позволили выделить наиболее продуктивные для условий Крыма сорта овса зимующего – Верный и Мезмай, которые в среднем за четыре года обеспечили урожайность зерна 2,73 и 2,74 т/га. Исходя из реакции сортов на условия среды и оценку пластичности, которая составила 1,02 у сорта Верный и 1,03 у сорта Мезмай, их можно отнести к сортам универсального типа, адаптивным к условиям региона.

Изучение сроков сева сортов овса зимующего показало, что в условиях 2022 г. максимальная средняя урожайность – 5,37 т/га формировалась при посеве 30 октября, в условиях 2023 г. – 15 октября (5,07 т/га).

Исследования по изучению оптимальных сроков сева овса зимующего будут продолжены.

Литература

1. Будина Е. А., Баталова Г. А. Влияние сроков уборки овса на посевные качества семян при хранении // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2013. № 4 (35). С. 13–15.
2. Кузенко М. В. История и успехи селекции зимующего овса в условиях южно-предгорной зоны Северо-западного Кавказа // Вестник адыгейского государственного университета. Серия 4: «Естественно-математические и технические науки». 2018. № 4 (231). С. 166–170.
3. Юсова О. А., Николаев П. Н., Сафонова И. В., Аниськин Н.И. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 2. С. 42–49. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49.
4. Филь И. В., Плющ О. В. Зимующий овес в условиях Майкопской опытной станции ВИР // Новые технологии. 2020. Вып. 1(51). С. 138–147. DOI: 10.24411/2072-0920-2020-10115.
5. Мамсиров Н. И., Гудкова Г. Н. Агробиологическая оценка сортов зимующего овса в Адыгее // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 10. С. 30–32.
6. Злотникова М. Д., Родионова Н.А. Зимующий овес и перспективы его использования // Труды по прикладной ботанике и генетике. 1978. Т. 63. Вып. 31. С. 166–169.
7. Гудкова Г. Н. Результаты селекции зимующего овса в Республике Адыгея // Устойчивое развитие АПК в современных условиях Юга России: сборник докладов Всероссийской Юбилейной научно-практической конференции, посвященной 50-летию ГНУ Адыгейский НИИСХ Россельхозакадемии. Ч. 2. Майкоп: Магарин О.Г., 2011. С. 52–57.
8. Кузенко М. В., Гудкова Г. Н. Оценка сортов овса зимующего по урожайности и крупности зерна // Зерновое хозяйство России. 2012. № 5. С. 10–12.
9. Казарина А. В., Атакова Е. А., Марунова Л. К. Оценка адаптивных свойств исходного материала сои по признаку «масса семян с 1 растения» в условиях юга лесостепи Среднего Поволжья // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 9. С. 11–17. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_9_11.
10. Николаев П. Н., Аниськов Н. И., Юсова О. А., Сафонова И. В. Адаптивность урожайности ярового овса в условиях омского Прииртышья // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018. Т. 179. № 4. С. 28–38. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-28-38.
11. Жуйкова О. А., Баталова Г. А. Адаптивность линий и сортов овса голозерного в условиях Кировской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. № 20 (2). С. 118–125. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.2.118-125.
12. Кузенко М. В., Гудкова Г. Н. Сортовая агротехника зимующего овса // Земледелие. 2014. № 7. С. 46–48.
13. Бирюков К. Н., Фоменко М. А., Бирюкова О. В., Ляшков И. В. Влияние элементов технологии возделывания и продуктивность новых сортов озимой пшеницы при усилении флуктуации климата // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 3(89). С. 47–59. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-89-3-47-52.

14. Радченко Л. А., Ганоцкая Т. Л., Радченко А. Ф., Бабанина С.С. Сроки сева и их влияние на урожайность и качества зерна сортов озимой пшеницы // *Зерновое хозяйство России*. 2021. № 6(78). С. 95–103. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-95-103.
15. Половицкий И. Я., Гусев П. Г. Почвы Крыма и повышение их плодородия. Симферополь: Таврия, 1987. 151с.
16. Агрокліматичний довідник по Автономній Республіці Крим (1986–2005 рр.): довідкове видання // За ред. О. І. Прудка та Т. І. Адаменко. Симферополь: ЦГМ в АРК, 2011. 344 с.
17. Радченко Л. А., Радченко А. Ф., Ганоцкая Т. Л. Сортовой состав озимых зерновых культур, рекомендованный для сельскохозяйственных предприятий Крыма (на основе результатов исследований 2016-2021 гг.). Симферополь: Ариал, 2022. 52 с.
18. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть. М.: Колос, 1971. 249 с.
19. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.
20. Eberhart S.A., Russel W.A. Stability parameters for comparing varieties // *Crop Sci*. 1966. Vol. 6. No. 1. P. 36–40.
21. Пакудин В. З., Лопатина Л. М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур // *Сельскохозяйственная биология*. 1984. № 4. С. 109–113.
22. Cheshkova A. F., Stepochkin P. I., Aleynikov A. F., Grebennikova I. G., Ponomarenko V. I. A comparison of statistical methods for assessing winter wheat grain yield stability // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020. Vol. 24. No. 3. P. 267–275. DOI: 10.18699/VJ20.619.
23. Filippov E., Bragin R., Dontsova A. Estimation of ecological adaptability and stability of the promising winter barley varieties in a competitive variety testing // *E3S Web of Conferences. XIII International Scientific and Practical Conference “State and Prospects for the Development of Agribusiness – INTERAGROMASH 2020”*. 2020. Vol. 175. Art. No. 01007. DOI: 10.1051/e3sconf/202017501007.
24. Keler V. V., Martynova O. V., Mozgovoy S. S. Ecological plasticity of spring wheat varieties in the Krasnoyarsk region // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IV International Scientific Conference: AGRITECH-IV-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies*. 2021. Vol. 677. Art. No. 042113. DOI: 10.1088/1755-1315/677/4/042113.

References

1. Budina E. A., Batalova G. A. The influence of harvest dates on sowing quality of seeds of oats at storage // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2013. No. 4 (35). P. 13–15. DOI: 10.30766/2072-9081.2013.35.4.13-15.
2. Kuzenko M.V. History and progress of selection of the wintering oats in southern foothill zone of the Northwest Caucasus // *The Bulletin of the Adyghe State University, the series “Natural-Mathematical and Technical Sciences”*. 2018. No. 4 (231). P. 166–170.
3. Nikolaev P. N., Yusova O. A., Safonova I. V., Aniskov N. I. Changes in oat grain yield and quality with increased adaptability of cultivars // *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2020. Vol. 181. No. 2. P. 42–49. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49.
4. Fil I. V., Plyushch O. V. Wintering oats in the conditions of the Maykop Experimental Station of RCRI // *Novye Tehnologii*. 2020. Iss. 1 (51). P. 138–147. DOI: 10.24411/2072-0920-2020-10115.
5. Mamsirov N. I., Gudkova G. N. Agrobiological assessment grades of wintering oats in Adyghea // *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2012. No. 10. P. 30–32.
6. Zlotnikova M. D., Rodionova N.A. Wintering oats and prospects for its use // *Proceedings on applied botany and genetics*. 1978. Vol. 63. Iss. 31. P. 166–169.
7. Gudkova G .N. Results of breeding wintering oats in the Republic of Adygheha // *Sustainable development of agro-industrial complex in modern conditions of Southern Russia: collection of reports of the All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 50th anniversary of the Adyghea Research Institute of Agriculture of the Russian Academy of Agricultural Sciences. Part 2. Maykop: Magarin O. G., 2011. P. 52–57.*
8. Kuzenko M. V., Gudkova G. N. Evaluation of overwintering oats varieties according to productivity and grain size // *Grain Economy of Russia*. 2012. No. 5. P. 10–12.
9. Kazarina A. V., Atakova E. A., Marunova L. K. Assessment of adaptive properties of soybean source material in terms of “seed weight from 1 plant” in the south of the forest-steppe of the Middle Volga region // *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2023. Vol. 37. No. 9. P. 11–17. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_9_0.
10. Nikolaev P. N., Aniskov N. I., Yusova O. A., Safonova I. V. Adaptability of spring oat yield in the environments of the Near-Irtysh area in Omsk Province // *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2018. Vol. 179. No. 4. P. 28–38. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-28-38.

11. Zhuikova O. A., Batalova G. A. Adaptability of naked oat lines and varieties in the conditions of Kirov region // Agricultural Science Euro-North-East. 2019. No. 20(2). P. 118–125. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.2.118-125.
12. Kuzenko M. V., Gudkova G. N. Agro-technics of varieties of wintering oats // Zemledelie. 2014. No. 7. P. 46–48.
13. Biryukov K. N., Fomenko M. A., Biryukova O. V., Lyashkov I. V. Influence of elements of cultivation technology on the productivity of new varieties of winter wheat with increasing climate fluctuation // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021. No. 3(89). P. 47–59. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-89-3-47-52.
14. Radchenko L. A., Ganotskaya T. L., Radchenko A. F., Babanina S. S. Sowing dates and their effect on productivity and grain quality of the winter wheat varieties // Grain Economy of Russia. 2021. No.6 (78). P. 95-103. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-95-103.
15. Polovitsky I. Ya., Gusev P. G. Soils of the Crimea and increasing their fertility. Simferopol: Tavria, 1987. 151 p.
16. Agroclimatic reference book on the Autonomous Republic of Crimea (1986–2005): reference edition // Ed. by Prudko O. I., Adamenko T. I. Simferopol: Regional Meteorological Center in the ARC, 2011. 344 p.
17. Radchenko L. A., Radchenko A. F., Ganotskaya T. L. Varietal composition of winter grain crops recommended for agricultural enterprises of Crimea (based on the results of research carried out in 2016-2021). Simferopol: Arial, 2022. 52 p.
18. Methods of the State variety testing of agricultural crops. Vol. 1. General part. Moscow: Kolos, 1971. 24 p
19. Dospekhov B. A. Method of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Alyans, 2014. 351p.
20. Eberhart S.A., Russel W.A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Sci. 1966. Vol. 6. No. 1. P. 36–40. DOI:10.2135/CROPSCI1966.0011183X000600010011X.
21. Pakudin V. Z., Lopatina L. M. Assessment of ecological plasticity and stability of varieties //Agricultural Biology [Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya]. 1984 No. 4 P. 109-113.
22. Cheshkova A. F., Steepochkin P. I., Aleynikov A. F., Grebennikova I. G., Ponomarenko V. I. A comparison of statistical methods for assessing winter wheat grain yield stability // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020. Vol. 24. No. 3. P. 267–275. DOI: 10.18699/VJ20.619.
23. Filippov E., Bragin R., Dontsova A. Estimation of ecological adaptability and stability of the promising winter barley varieties in a competitive variety testing // E3S Web of Conferences. XIII International Scientific and Practical Conference “State and Prospects for the Development of Agribusiness – INTERAGROMASH 2020”. 2020. Vol. 175. Art. No. 01007. DOI: 10.1051/e3sconf/202017501007.
24. Keler V. V., Martynova O. V., Mozgovoy S. S. Ecological plasticity of spring wheat varieties in the Krasnoyarsk region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IV International Scientific Conference: AGRITECH-IV-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. 2021. Vol. 677. Art. No. 042113. DOI: 10.1088/1755-1315/677/4/042113.

UDC 633.13

Radchenko L. A., Ganotskaya T. L.

EVALUATION OF WINTERING OATS VARIETIES ADAPTABILITY UNDER CONDITIONS OF STEPPE CRIMEA

Summary. *In regions with temperate and humid climate, oats are mainly sown in spring. However, in regions with warm and mild winters it can be sown as a winter crop. As far as the Republic of Crimea is concerned, wintering varieties of oats have never been cultivated here before. In the light of the above, the aim of the present research was to conduct a comparative assessment of wintering oats varieties productivity under conditions of the Republic of Crimea and determine the optimal planting dates for the most adaptive ones. Experimental studies were carried out in the Central Steppe Zone of the Crimean Peninsula in 2017–2023. Weather conditions during the study period were contrasting, which allowed the most objective assessment of the studied varieties in both favourable 2020 ($I_j = +0.53$) and unfavourable 2018, 2019 and 2021 ($I_j = -0.50, -0.03$ and -0.13 , respectively). In the course of our research, we evaluated productivity of six varieties of wintering oats (originator – Adygea Research Institute of Agriculture). According to the results of the four-year varietal study and screening of ecological adaptability parameters (2017–2021), we selected varieties that were the most adapted to the conditions of Steppe Crimea – ‘Verny’ and ‘Mezmay’. In*

2021–2023, the experiment with these varieties on optimising planting dates was continued; four dates were studied: from 1 October to 15 November with an interval of 15 days. On average for four years, ‘Verny’ and ‘Mezmay’ provided grain yields at the level of 2.73 and 2.74 t/ha, respectively, exceeding the other varieties studied in the experiment by 0.12-0.63 t/ha. Based on the reaction of the varieties to environmental conditions and evaluation of their ecological plasticity ($bi=1.02$ – ‘Verny’; $bi=1.03$ – ‘Mezmay’), they can be classified as universal ones: they will not significantly reduce yield under unfavourable conditions and provide a high yield under favourable ones. In 2022, the maximum yield was obtained when wintering *Avena sativa* was sown on 30 October (‘Verny’ – 5.60 t/ha; ‘Mezmay’ – 5.13 t/ha); in 2023 – on 15 October (5.35 and 4.79 t/ha, respectively).

Keywords: wintering oats (*Avena sativa* L.), variety, productivity, plasticity index, planting dates, yield.

Радченко Людмила Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская 150; e-mail: radchenkolydmila@yandex.ru.

Ганоцкая Татьяна Леонидовна, младший научный сотрудник лаборатории семеноводства и сортоизучения новых генотипов, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская 150; e-mail: ganotskaya.tanya@mail.ru.

Radchenko Ludmila Anatolyevna, Cand. Sc. (Agr.), deputy director for scientific work, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: l-radchenko@ukr.net.

Ganotskaya Tatyana Leonidovna, junior researcher of the Laboratory of seed growing and strain investigation of new genotypes of the Department of introductions and technologies in agriculture and livestock farming, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: ganotskaya.tanya@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 23.08.2023.

Дата принятия к печати – 20.09.2023.

DOI 10.5281/zenodo.10141680

EDN DNAQKU

УДК 631.358: 631.354.3

Романенко В. Ю., Соловьёв С. В.

К АНАЛИЗУ ПРОЦЕССА ОЧЕСА ЛЬНА-ДОЛГУНЦА НА КОРНЮ

ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»

Реферат. Наиболее значимой операцией при уборке льна-долгунца, от которой зависит качество получаемой продукции, является процесс отделения семенной части урожая от стеблей. Цель исследований – теоретически обосновать процесс очеса растений льна-долгунца на корню гребенками однороторной очесывающей жатки для определения ее оптимальных геометрических параметров и режимов работы. Задачи исследований – определение оптимального радиуса очесывающей жатки, и установление условий, при которых семенной материал можно будет собирать с наименьшими потерями и повреждениями. Методы исследования базировались на классических законах механики с использованием математических моделей, описывающих процессы движения семенных головок льна-долгунца при очесе их гребенкой очесывающего барабана и последующей транспортировкой в наклонную камеру комбайна. В лаборатории агроинженерных технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» в 2021–2023 гг. проведены теоретические исследования процесса очеса растений льна-долгунца на корню гребенками однороторной очесывающей жатки. В статье рассмотрены основные конструктивные параметры рабочая ширина очесывающего барабана B и радиус очесывающего барабана агрегата r_0 , а также основные показатели: кинематический режим работы агрегата λ и число оборотов очесывающего барабана n . Очесывающая жатка, кроме очеса, выполняет функцию механизма по сбору и транспортировке семенных головок в накопитель, поэтому были рассмотрены силы, действующие на семенные головки, удаленные на разные расстояния от центра вращения и осуществляющие движение вместе с очесывающей гребенкой. Получено условие, при котором начнется отрыв семенных головок от поверхности очесывающих гребней: $h = \omega^2 \cdot r \cdot \sin \beta_0 \geq g$. В зависимости от кинематических показателей режима работы агрегата определен оптимальный радиус очесывающего барабана r_0 . Для очеса растений льна-долгунца на корню радиус очесывающего барабана должен составлять: $r_0 = 0,33 - 0,35$ м. Определено оптимальное условие: $y = H - L \leq X \leq L + M$, при котором ворох льна будет попадать в наклонную камеру с минимальными потерями и повреждением семенного материала.

Ключевые слова: лен-долгунец, очес, гребенка, радиус однороторной жатки, очесывающий барабан, агрегат, ворох.

Для цитирования: Романенко В. Ю., Соловьёв С. В. К анализу процесса очеса льна-долгунца на корню // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3(35) С. 189–198. EDN: DNAQKU. DOI: 10.5281/zenodo.10141680.

For citation: Romanenko V. Yu., Soloviev S. V. To the analysis of the process of combing fiber flax on the root // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3(35). P. 189–198. EDN: DNAQKU. DOI: 10.5281/zenodo.10141680.

Введение

Стратегическое значение для России льна как единственного возобновляемого источника натурального текстильного сырья существенно возрастает, что обусловлено

санкциями и снижением объемов поставляемого из-за рубежа хлопка. С целью повышения сырьевой и товарной независимости недостаток хлопка можно заменить волокном, получаемым из лубяных культур. Это создает перспективы для роста объемов производства льняного сырья, однако до настоящего времени развитие этого процесса идет медленно [1].

Уборка льна долгунца является заключительным, самым сложным и материально затратным процессом, на долю которого в зависимости от принятой технологии приходится 65–80 % затрат труда, 55–75 % денежных средств и до 40 % затрат энергии. Независимо от используемой технологии, уборка является наиболее важной и ответственной операцией, в значительной мере определяющей количество и качество получаемой продукции. Решение вопросов повышения качества и скорости уборки льна-долгунца в настоящее время имеет важное значение. Основным способом уборки льна пока еще остается комбайновый, который заключается в терблении льна льнокомбайном с одновременным очесом коробочек и сбором вороха в прицеп. При этом удается получить и семенной материал, и тресту для дальнейшей переработки [2, 3].

На данный момент вместе с комбайновой технологией все больше начинают применять технологию счеса семенных головок со стеблей льна на корню однороторными очесывающими жатками. Данная технология позволяет сократить сроки уборки благодаря большой производительности жаток, снизить потери семян, повысить их качество, а также сократить затраты на сушку вороха. Льностерню, которая осталась на поле, тербят более высокопроизводительными тербилками и расстилают для дальнейшей вылежки в тресту [4, 5].

Основным технологическим процессом при уборке льна-долгунца является отделение семенной части урожая от стеблей. От качества его выполнения зависит снижение потерь семян, номер получаемой тресты и количество затрат для дальнейшей переработки полученного сырья. По своей природе очес льна-долгунца является процессом разделительным с деформацией и частичным разрушением стеблей и семенных коробочек. Он характеризуется тем, что стеблевой слой, подвергаясь различным механическим воздействиям рабочего органа, частично или полностью (идеальный случай) разделяется на стебли и семенную часть – льняной ворох. При этом воздействия по возможности должны быть такими, чтобы семенные коробочки не разрушались, а стебли льна не повреждались, сохраняя свою целостность и природную прочность. После отделения семенной массы от растений происходит их транспортировка в накопитель. Ворох, благодаря воздушному потоку (который создается очесывающим устройством), а также непосредственно от воздействия самого рабочего органа перемещается на конвейер (транспортёр) и дальше в накопитель. При уборке льнокомбайнами потери семенной массы на этапе перемещения их от очесывающего барабана до транспортёра достигают 7–10 %, что обусловлено конструктивными особенностями очесывающего аппарата данных машин. Использование однороторных жаток для очеса льна-долгунца на корню позволит устранить потери семян на этапе их транспортировки от рабочего органа к накопителю, так как семенная масса подается через наклонную камеру. Тем не менее, потери могут происходить в момент отрыва коробочек от растений. Поэтому представляет интерес разработать методику расчета, обосновать параметры очесывающего барабана и режимы его работы [6, 7].

Цель исследований – теоретически обосновать процесс очеса растений льна-долгунца на корню гребенками однороторной очесывающей жатки для определения ее оптимальных геометрических параметров и режимов работы.

Сформированы задачи исследований:

— определить оптимальный радиус однороторной очесывающей жатки для качественного выполнения технологического процесса с учетом кинематических режимов работы агрегата;

— установить оптимальные условия воздействия очесывающей гребенки на стебли растений льна-долгунца для отделения семенных коробочек при котором семенная масса и ворох льна будут попадать в наклонную камеру с минимальными потерями и повреждением семенного материала.

Материалы и методы исследований

Теоретические исследования процесса очеса растений льна-долгунца на корню проводили в 2021–2023 гг. в лаборатории агроинженерных технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур». Изучены режимы работы аппарата для очеса льна-долгунца на корню, обоснованы геометрические параметры, величина установленного зазора очесывающей гребенки и интенсивность воздействия рабочего органа на стебель льна-долгунца [8–10]. Разработана лабораторная установка для проведения камеральных исследований по отделению семенных коробочек от стеблей льна-долгунца при очесе растений на корню очесывающей гребенкой. Камеральные исследования запланировано провести в 2024 г.

Объектом исследования является однороторная очесывающая жатка с размещенным на ней рабочим органом – очесывающими гребенками. Для определения оптимальных параметров и режимов работы очесывающей жатки необходимо знать прочностную характеристику растений льна-долгунца. В процессе работ изучали физико-механические свойства растений и сущность процесса отделения семенной коробочки. На сорте льна-долгунца «Надежда» методом тензометрирования определили усилие, необходимое для отделения семенных коробочек. В качестве тензометрического оборудования использована разрывная машина МРВ–1И (для льноконоплетресты, трепаного, чесаного льна и пеньки). К тензобалке крепили очесывающую гребенку, производили тарирование прибора, растения льна-долгунца жестко крепили к нижней части разрывной машины и проводили эксперимент. Усилие для отделения одной коробочки составило от 17 до 23 Н. Информационную базу, необходимую для работы, составили научные публикации по данной теме [11–14]. Методы исследования базировались на классических законах механики с использованием математических моделей, описывающих процессы движения семенных головок льна-долгунца при очесе их гребенкой очесывающего барабана и транспортировкой в наклонную камеру комбайна [15].

Результаты и их обсуждение

Качество работы очесывающего барабана зависит от правильного выбора и расчета его основных конструктивных параметров. Рабочая ширина очесывающего барабана B определяется исходя из зоны расположения семенных головок на стебле растений льна-долгунца B_0 . Следовательно:

$$B = \eta \cdot \tau \cdot B_0, \text{ м} \quad (1)$$

где η – коэффициент, учитывающий разброс зоны расположения семенных головок на стебле льна-долгунца;

τ – коэффициент, учитывающий отклонение рабочей зоны барабана из-за влияния рельефа поля;

B_0 – зона расположения семенных головок на стебле льна-долгунца, м.

Для расчета барабана важны критические значения числа прочесов стебля льна-долгунца $Q_{кр}$ и скорости движения его очесывающих гребенок $V_{ог}$, м/с, выше которой начинается повреждение семенных головок, стеблей и непосредственно семян.

Поэтому, при расчете необходимо исходить из условия: $Q \leq Q_{кр}$ и $V_{оз} \leq V_{кр}$ [16].

Считая, что на производственных полях стебли льна-долгунца расположены практически в виде непрерывного слоя, число прочесов Q (раз) зависит от режима работы очесывающего барабана агрегата:

$$Q = \frac{n \cdot z}{60 V_a}, \text{ раз} \quad (2)$$

где n – число оборотов очесывающего барабана, об./мин;

z – количество очесывающих гребенок на барабане жатки, шт;

V_a – поступательная скорость агрегата, км/час.

Число оборотов очесывающего барабана n , можно определить по формуле:

$$n = \frac{V_{оз}}{2 \cdot \pi \cdot L}, \text{ об./мин} \quad (3)$$

где L – расстояние от центра вращения барабана до конца очесывающих гребенок, м.

Подставив выражение (3) в (2) и скорректировав единицы измерения, число прочесов Q можно рассчитать по формуле:

$$Q = \frac{1.8 \cdot z \cdot V_{оз}}{\pi \cdot L \cdot V_a}, \text{ раз} \quad (4)$$

Расчет скорости движения агрегата V_a проводится исходя из выбранных значений числа полных прочесов Q , числа оборотов n и числа гребней z очесывающего барабана:

$$V_a = \frac{n \cdot z}{60 \cdot Q}, \text{ км/час} \quad (5)$$

При этом промежуток времени t , между последовательными вхождениями очесывающих гребней в слой головок льна-долгунца определяется по формуле:

$$t = \frac{60}{n \cdot z}, \text{ час} \quad (6)$$

Кинематический режим работы агрегата λ определяется как соотношение окружной скорости очесывающего барабана $V_{оз}$ к поступательной (линейной) скорости агрегата V_a .

$$\lambda = \frac{V_{оз}}{V_a} \quad (7)$$

Результаты исследования технологического процесса очёса зерновых и зернобобовых культур показали, что для выполнения агротехнических требований кинематический режим работы агрегата λ должен варьировать в пределах от 5 до 7 [17]. Тогда радиус r_0 очесывающего барабана агрегата можно определить по формуле:

$$r_0 = 25 \cdot \frac{\lambda \cdot V_a}{3 \cdot \pi \cdot n}, \text{ м} \quad (8)$$

По формуле (8) рассчитаем радиус очесывающего барабана r_0 . Согласно рекомендациям для льноуборочных комбайнов, частота вращения очесывающего барабана находится в диапазоне от 250 до 300 об./мин, примем частоту вращения очесывающего барабана жатки n 250 об./мин. Скорость движения агрегата V_a установим 5,5 км/ч, показатель кинематического режима λ – 6. Подставив значения в формулу (8), получим радиус очесывающего барабана $r_0 = 0,35$ м [18].

Очесывающий барабан жатки, кроме своего основного назначения выполняет также роль механизма по перемещению и сбору семенных головок в накопитель. Поэтому при расчете режима работы очесывающего барабана необходимо учитывать условия подачи головок в наклонную камеру.

В процессе движения семенной головки вместе с очесывающей гребенкой на нее действует сила тяжести G и центробежная сила P , которые приводятся к одной равнодействующей R_i , (рисунок 1).

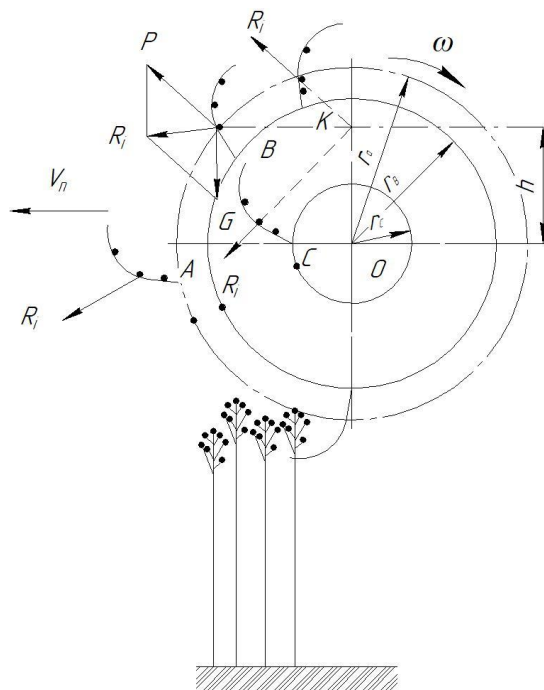


Рисунок 1 – Схема к анализу процесса подачи семенных головок в накопитель наклонной камеры

Примечание. K – полюс равнодействующих сил; h – высота от оси вращения до полюса равнодействующих сил; $r_{a,b,c}$ – радиусы крепления гребенки на окружностях A, B, C .

При вращении барабана равнодействующие силы R_i , действующие на головки, проходят через одну общую точку K (полюс равнодействующих). Положение полюса K определяет характер подачи головок в накопитель наклонной камеры. При этом отрыв головок с гребенок барабана может осуществляться [19]:

а) под действием центробежной силы, когда полюсное расстояние точки K меньше или равно расстоянию от центра очесывающего барабана до расположения очесывающей гребенки, размещенной на окружности A $h \leq r_a$. В этом случае полюс находится внутри барабана, головки будут отрываться от концов гребенок и двигаться по кривой, близкой к параболе;

б) под действием силы тяжести и центробежной силы, когда $r_c \leq h \leq r_a$. При этом головки будут отрываться уже от средней части длины гребенок, а их траектория движения будет более крутая;

в) под действием силы тяжести, когда $h \geq r_c$. В этом случае полюс K находится вне барабана и головки перекатываются или скользят по поверхности гребенок под действием только силы тяжести.

Полюсное расстояние h определяется формулой:

$$h = \frac{g}{\omega^2}, \text{ м} \quad (9)$$

где g – ускорение силы тяжести, м/с²;

ω – угловая скорость, с⁻¹;

n – число оборотов очесывающего барабана в мин.

Траектория движения головок зависит от положения точки отрыва их от гребней относительно горизонтальной оси очесывающего барабана агрегата. Положение точки отрыва определяется углом поворота β_0 , который зависит от режима работы и параметров барабана.

Условия, при которых начнется отрыв семенных головок от поверхности очесывающих гребней, выражают следующим образом:

$$h = \omega^2 \cdot r \cdot \sin \beta_0 \geq g \quad (10)$$

Для определения условий попадания очесанных головок в улавливатель накопительной камеры необходимо определить закон движения головок после отрыва их от очесывающих гребенек барабана. При этом считаем, что головки представляют собой материальную точку, а трением головок по гребням и их сопротивлением воздуха пренебрегаем в связи с уравниванием его благодаря воздушному потоку, создаваемому гребенками очесывающего барабана.

Если рассмотреть движение головок после их отрыва в декартовой системе координат (рисунок 2), то дифференциальные уравнения движения семенных головок будут:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = 0, \frac{d^2y}{dt^2} = -g, \quad (11)$$

а закон движения семенных головок выразится уравнением:

$$y = x \tan \alpha - \frac{g}{2v_0 \cos^2 \alpha} x^2 \quad (12)$$

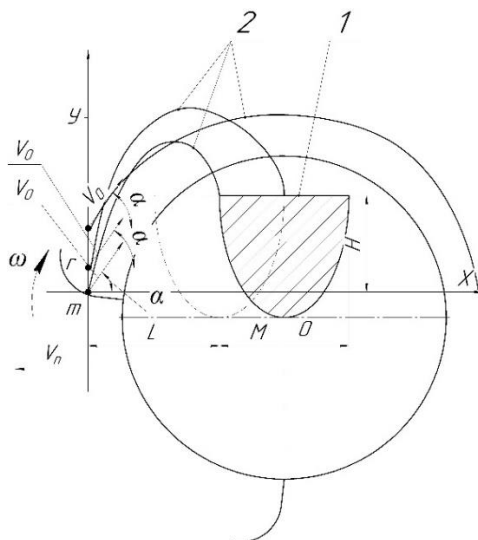


Рисунок 2 – Схема к расчету оптимального режима работы очесывающего барабана

Примечание. 1 – условный улавливатель наклонной камеры; 2 – траектории движения семенных головок при различных положениях точек (m) их отрыва; H – высота расположения условного улавливателя наклонной камеры; L – расстояние между условным улавливателем и точками отрыва семенных головок; M – ширина входного сечения наклонной камеры.

Зная, что

$$V_0 = \omega r, \alpha = 90^\circ - \beta_0 \quad (13)$$

(здесь β_0 – угол поворота очесывающей гребенки, при котором начинается отрыв семенных головок от гребенок), тогда уравнение получит следующий вид:

$$y = x \operatorname{ctg} \beta_0 - \frac{g}{2\omega^2 r^2 \cos^2 \beta_0} x^2. \quad (14)$$

Оптимальный угол поворота очесывающей гребенки, при котором ворох льна будет попадать в наклонную камеру с минимальными потерями и повреждением семенного материала, достигается тогда, когда головки льна попадают в заштрихованную область на рисунке 2, и соблюдается условие:

$$y = H \cdot L \leq X \leq L + M \quad (15)$$

Выводы

Получено условие, при котором начнется отрыв семенных головок от поверхности счесывающих гребней: $h = \omega^2 \cdot r \cdot \sin \beta_0 \geq g$.

По результатам работы определен оптимальный радиус очесывающего барабана r_0 в зависимости от кинематических показателей режима работы агрегата. Для очеса растений льна–долгунца на корню радиус очесывающего барабана составляет $r_0 = 0,33–0,35$ м. Определено оптимальное условие $y = H \cdot L \leq X \leq L + M$ и оптимальный угол поворота очесывающей гребенки при которых ворох льна будет попадать в наклонную камеру с минимальными потерями и повреждением семенного материала.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЛК (№ FGSS-2022-0005).

Литература

1. Басова Н. В., Новиков Э. В., Беззабченко А. В. Производство и переработка лубяных культур в России как элемент импортозамещения // АПК: экономика, управление. 2022. № 8. С. 71–78. DOI: 10.33305/228-71.
2. Попов Р. А., Давыдова С. А., Голубев И. Г. Технические средства для уборки льна-долгунца // Техника и оборудование для села. 2021. № 7 (289). С. 23–27. DOI: 10.33267/2072-9642-2021-7-23-27.
3. Романенко В. Ю., Соловьев С. В. Оценка качества работы очесывателей льнотресты при переработке льна-долгунца по заводской технологии // Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. 2022. Т. 2. № 4 (6). С. 34–40. DOI: 10.54016/SVITOK.2023.84.97.005.
4. Черников В. Г., Ростовцев Р. А., Романенко В. Ю. Исследование технологий уборки льна льноуборочными машинами // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17. № 1. С. 19–24. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-1-19-24.
5. Пучков Е. М., Ущаповский И. В., Попов Р. А. Перспективы развития льняного подкомплекса Российской Федерации на примере Тверской области // Техника и оборудование для села. 2022. № 8 (302). С. 2–5. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-8-2-5.
6. Лачуга Ю. Ф., Зинцов А. Н., Ковалев М. М., Перов Г. А. Научные аспекты повышения эффективности процесса очеса семенных коробочек при двухфазной уборке льна-долгунца // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 1. С. 53–58. DOI: 10.31857/S2500262722010094.
7. Алдошин Н. В., Мосяков М. А. Совершенствование конструкции очесывающих устройств для уборки зернобобовых культур // Техника и технология АПК. 2018. № 2. С. 23–27. DOI: 10.26897/1728-7936-2018-2-23-27.
8. Ростовцев Р. А., Шишин Д. А. Исследование нового очесывающего устройства лент льна // Техника и оборудование для села. 2020. № 10 (280). С. 8–10. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-10-8-10.
9. Ростовцев Р. А., Ковалев М. М., Фадеев Д. Г., Галкин А. В., Шишин Д. А. Снижение потерь семян в льнокомбайне // Техника и оборудование для села. 2017. № 7. С. 20–23.
10. Черников В. Г., Ростовцев Р. А., Соловьев С. В., Скворцов С. С. Обоснование установленного зазора очесывающей гребенки и интенсивности воздействия на стебель льна-долгунца

при очесе на корню // Техника и оборудование для села. 2022. № 3 (297). С. 30–33. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-3-30-33.

11. Черников В.Г. Исследование основных параметров расстилочного устройства и мощности на перемещение стеблей // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. №1. С. 24–27.

12. Черников В. Г., Ростовцев Р. А., Кудрявцев Н. А., Ущеповский И. В., Попов Р. А., Скворцов С. С. Влияние факторов окружающей среды на урожайность и качество льняного сырья // Вестник аграрной науки. 2020. № 5 (86). С. 3–10. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.5.3.

13. Belopukhov S., Dmitrevskaya I., Grishina E., Zaitsev S., Uschapovsky I. Effects of humic substances obtained from shives on flax yield characteristics // Journal of Natural Fibers. 2017. Vol. 14. No. 1. P. 126–133. DOI: 10.1080/15440478.2016.1167648.

14. Лачуга Ю. Ф., Ковалев М. М., Перов Г. А., Галкин А. В. Методика определения закономерности растяжения группы стеблей растительных материалов // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 1. С. 67–71. DOI: 10.31857/S2500262721010166.

15. Кленин Н. И. Егоров В. Г. Сельскохозяйственные машины. М.: КолосС, 2013. 464 с.

16. Черников, В. Г. Порфирьев, С. Г., Ростовцев, Р. А. Очесывающие аппараты льноуборочных машин. М.: Издательство ВИМ, 2004. 237 с.

17. Галкин А. В., Фадеев Д. Г. Энергетические показатели гребневых очесывающе-транспортирующих аппаратов при различных способах очеса стеблей льна // Техника и оборудование для села. 2015. № 9. С. 9–11.

18. Черников В. Г., Ростовцев Р. А. Определение параметра интенсивности отрыва коробочек льна при работе очесывающего устройства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. Т. 11. № 4. С. 20–23. DOI: 10.22314/207375992017.4.2023.

19. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. Том Т. Издательство «Машиностроение», Москва, 1967.

References

1. Basova N. V., Novikov E. V., Bezbabchenko A. V. Production and processing of bast crops in Russia as an element of import substitution // AIC: economics, management. 2022. No. 8. P. 71–78. DOI: 10.33305/228-71.

2. Popov R. A., Davydova S. A., Golubev I. G. Equipment for harvesting fiber flax// Machinery and Equipment for Rural Area. 2021. No. 7 (289). P. 23–27. DOI: 10.33267/2072-9642-2021-7-23-27.

3. Romanenko V. Yu., Solovyov S. V. Assessment of the quality of work of flax combing machines during the processing of flax by the factory technology // Technical crops. Scientific Agricultural Journal. 2022. Vol. 2. No. 4 (6). P. 34–40. DOI: 10.54016/SVITOK.2023.84.97.005.

4. Chernikov V. G., Rostovtsev R. A., Romanenko V. Yu. Flax harvesting technologies for flax harvesting machines // Agricultural Machinery and Technologies (Sel'skokhozyaistvennyye mashiny i tekhnologii). 2023. Vol. 17. No. 1. P. 19–24. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-1-19-24.

5. Puchkov E. M., Ushchapovsky I. V., Popov R. A. Prospects for the development of the linen subcomplex of the Russian Federation on the example of the Tver region // Machinery and Equipment for Rural Area. 2022. No. 8(302). P. 2–5. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-8-2-5.

6. Lachuga Yu. F., Zintsov A. N., Kovalev M. M., Perov G. A. Scientific aspects of improving the efficiency of seedpod combining the processes in two-phase harvesting of flax // Russian Agricultural Science. 2022. Vol. 48. No. 1. P. 40–46. DOI: 10.3103/S1068367422020100.

7. Aldoshin N. V., Mosyakov M. A. Improving the design of combing devices for harvesting leguminous crops // Vestnik of Moscow Goryachkin State Agroengineering University. 2018. No. 2. P. 23–27. DOI: 10.26897/1728-7936-2018-2-23-27.

8. Rostovtsev R. A., Shishin D. A. Investigation of a new flax belt stripper // Machinery and Equipment for Rural Area. 2020. No. 10 (280). P. 8–10. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-10-8-10.

9. Rostovtsev R. A., Kovalev M. M., Fadeev D. G., Galkin A. V., Shishin D. A. Seed losses reduction in flax harvester // Machinery and Equipment for Rural Area. 2017. No. 7. P. 20–23.

10. Chernikov V. G., Rostovtsev R. A., Soloviev S. V., Skvortsov S. S. Justification of the adjusted clearance of the stripping comb deburring blade and the intensity of the impact on the fiber flax stalk during deburring at the root // Machinery and Equipment for Rural Area. 2022. No. 3(297). P. 30–33. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-3-30-33.

11. Chernikov V. G. Research of basic parameters of spreading device and power to flax stems mowing // Agricultural Machinery and Technologies. 2015. No. 1. P. 24–27.

12. Chernikov V. G., Rostovtsev R. A., Kudryavtsev N. A., Uschapovsky I. V., Popov R. A., Skvortsov S. S. The influence of environmental factors on the crop and quality of fiber flax // Bulletin of Agrarian Science. 2020. No. 5 (86). P. 3–10. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.5.3.

13. Belopukhov S., Dmitrevskaya I., Grishina E., Zaitsev S., Uschapovsky I. Effects of humic substances obtained from shives on flax yield characteristics // Journal of Natural Fibers. 2017. Vol. 14. No. 1. P. 126–133. DOI: 10.1080/15440478.2016.1167648.
14. Lachuga Yu. F., Kovalev M. M., Perov G. A., Galkin A.V. Method for determining the pattern of stretching groups of stems of plant materials // Rossiiskaia Selskokhoziaistvennaia Nauka. 2021. No. 1. P. 67–71. DOI: 10.31857/S2500262721010166.
15. Klenin N. I., Egorov V. G. Agricultural machines. Moscow: KolosS, 2013. 464 p.
16. Chernikov V. G., Porfiriev S. G., Rostovtsev R. A. Combing devices for flax harvesting machines. Moscow: VIM Publ., 2004. 237 p.
17. Galkin A. V., Fadeev D. G. Energy indicators of ridge deseeding and transporting apparatus at different ways of flax stalks tow // Machinery and Equipment for Rural Area. 2015. No. 9. P. 9–11.
18. Chernikov V. G., Rostovtsev R. A. Determination of parameter of intensity of flax balls separation during comb deseeding operation // Agricultural Machinery and Technologies (Sel'skokhoziaistvennye mashiny i tekhnologii). 2017. Vol. 11. No. 4. P. 20–23. DOI: 10.22314/207375992017.4.2023.
19. Handbook for the designer of agricultural machinery. Vol. T. Moscow: Publishing House “Mashinostroenie”, 1967.

UDC 631.358: 631.354.3

Romanenko V. Yu., Soloviev S. V.

TO THE ANALYSIS OF THE PROCESS OF COMBING FIBER FLAX ON THE ROOT

Summary. *The most significant operation in harvesting flax, on which the quality of the products depends, is the process of separating seeds from the stems. The purpose of the research was twofold: theoretically substantiate the process of combing flax plants on the root with a single-rotor combing harvester; determine its optimal geometric parameters and operating mode. The objectives of the research were to determine the optimal radius of the combing harvester and to identify the conditions under which the seed material will be collected with minimal losses and damage. The research methods were based on the classical laws of mechanics using mathematical models describing the processes of movement of flax seed heads when combing them with a comb of a combing drum and transporting to an inclined chamber of a harvesting machine. Theoretical studies of the process of combing flax plants on the root with combs of a single-rotor combing harvester were carried out in 2021–2023 at the Laboratory of Agroengineering Technologies – structural unit of the FSBR “Federal Research Center for Bast Fiber Crops”. The article considers both the main design parameters (working width of the combing drum B , radius of the combing drum of the unit r_0) and the main indicators (kinematic mode of operation of the unit λ , number of revolutions of the combing drum n). Combing harvester, in addition to crop combing process, performs the function of a mechanism for collecting and transporting seed heads to the hopper, so we considered the forces acting on the seed heads removed at different distances from the center of rotation and moving together with the combing comb. The condition, at which the separation of seed heads from the surface of the combing ridges will begin, was obtained: $h = \omega^2 \cdot r \cdot \sin \beta_0 \geq g$. Depending on the kinematic parameters of the unit operating mode, the optimal radius of the combing drum (r_0) was determined. For the flax plants, it should be $r_0 = 0.33 - 0.35$ m. The optimal condition, at which the flax pile will be transported to the inclined chamber with minimal losses and damage to the seed material, was also determined: $y = H \cdot L \leq X \leq L + M$.*

Keywords: fiber flax, crop combing process, comb, radius of a single-rotor harvester, combing drum, aggregate, pile.

Романенко Владислав Юрьевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агроинженерных технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»; 170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский пр-т, 17/56; e-mail: v.romanenko@fncl.ru.

Соловьёв Сергей Викторович, инженер-проектировщик лаборатории проектирования и внедрения инновационных технологий и технических средств ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»; 170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский пр-т, 17/56; e-mail: s.solovyov@fncl.ru.

Romanenko Vladislav Yuryevich, Cand. Sc. (Techn.), leading researcher at the Laboratory of agroengineering technologies, FSBRI “Federal Research Center for Bast Fiber Crops”; 17/56, Komsomolsky avenue, Tver, 170041, Russia; e-mail: v.romanenko@fncl.ru.

Soloviev Sergey Viktorovich, design engineer of the Laboratory of design and implementation of innovative technologies and technical means, FSBRI “Federal Research Center for Bast Fiber Crops”, 17/56, Komsomolsky avenue, Tver, 170041, Russia; e-mail: s.solovyov@fncl.ru.

Дата поступления в редакцию – 20.07.2023

Дата принятия к печати – 21.09.2023.

DOI 10.5281/zenodo.10141759

EDN WZPPHV

УДК 632/633/635-2

Румянцев С. Д., Алексеев В. Ю., Шеин М. Ю., Веселова С. В., Бурханова Г. Ф.,
Максимов И. В.

РОЛЬ БАКТЕРИЙ *VACILLUS SPP.* В ИНДУКЦИИ ГОРМОНАЛЬНЫХ СИГНАЛЬНЫХ ПУТЕЙ И МЕХАНИЗМА РНК-ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЗАЩИТНОГО ОТВЕТА РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ К ОБЫКНОВЕННОЙ ЧЕРЕМУХОВОЙ ТЛЕ *RHOPALOSIPHUM PADI (L.)*

Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение
ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»

Реферат. Поиск новых перспективных эндофитных стимулирующих рост растений бактерий (СРРБ) и изучение механизмов их действия при развитии иммунитета против вредителей, связанных с праймингом и активацией системы РНК-интерференции, является актуальной задачей. Поэтому целью нашей работы было изучение роли нескольких штаммов и изолятов эндофитов рода *Bacillus* в активации системной индуцированной устойчивости (СИУ) и компонентов системы РНКи в растениях пшеницы заселенных обыкновенной черемуховой тлей *Rhopalosiphum padi* L. Исследования проводили в лаборатории ИБГ УФИЦ РАН в период с августа 2022 г. по апрель 2023 г. Изучено четыре штамма эндофитных бактерий *Bacillus subtilis* 26Д, *B. subtilis* 11ВМ, *B. thuringiensis* В-6066, *B. thuringiensis* В-5351 и два изолята *Bacillus* sp. – *Tas-1* и *Tas-8.2*, выделенные из внутренних тканей растений пшеницы. Все изученные штаммы и изоляты *Bacillus* spp. опосредованно через растения увеличивали смертность черемуховой тли *R. padi* на 17–48 % и повышали толерантность растений к тле, увеличивая рост листа на 19–26 % по сравнению с необработанными заселенными тлей растениями. Методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) в реальном времени проведена сравнительная оценка характера транскрипционной активности генов, кодирующих защитные белки – маркеры салицилат-, этилен- и жасмонат-сигнальных путей (PR-1, PR-2, PR-3, PR-6, PR-9), а также генов системы РНК-интерференции – *AGO1*, *AGO2*, *AGO4*, *DCL2* и *DCL4*. Показано, что бактерии активировали системную устойчивость, регулируя работу разных гормональных сигнальных путей, но сигнальный путь этилена у них был общим. В большей степени бактерии влияли на экспрессию генов *AGO4* и *DCL2*, повышая ее по сравнению с контролем в 30 и 12–14 раз соответственно. Таким образом, сигнальный путь этилена и ферменты *AGO4* и *DCL2* играют важную роль в индукции устойчивости пшеницы к черемуховой тле *R. padi* опосредованной бактериальными штаммами *B. subtilis* 26Д, *B. thuringiensis* В-6066, *B. thuringiensis* В-5351 и изолятом *Bacillus* sp. *Tas8.2*.

Ключевые слова: *Bacillus* spp., *Rhopalosiphum padi* L., гормональные сигнальные пути, защита растений, РНК-интерференция, системная индуцированная устойчивость, эндофиты, этилен.

Для цитирования: Румянцев С. Д., Алексеев В. Ю., Шеин М. Ю., Веселова С. В., Бурханова Г. Ф., Максимов И. В. Роль бактерий *Bacillus* spp. в индукции гормональных сигнальных путей и механизма РНК-интерференции при формировании защитного ответа растений пшеницы к обыкновенной черемуховой тле *Rhopalosiphum padi* (L.) // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3 (35). С. 199–214. EDN: WZPPHV. DOI: 10.5281/zenodo.10141759.

For citation: Rumyantsev S. D., Alekseev V. Yu., Shein M. Yu., Veselova S. V., Burkhanova G. F., Maksimov I. V. The role of *Bacillus* spp. in the induction of hormonal signaling pathways and mechanism of RNA interference during formation defensive response of wheat plants against *Rhopalosiphum padi* (L.) // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2023. No. 3(35). P. 199–214. EDN: WZPPHV. DOI: 10.5281/zenodo.10141759.

Введение

В настоящее время для получения высоких урожаев необходимо использование не только устойчивых сортов, но и различных средств защиты растений (СЗР) от вредителей и болезней. Для сельского хозяйства представляют большой интерес биологические СЗР, индуцирующие иммунные реакции растений, а также обеспечивающие защиту растений с использованием технологий РНК-интерференции [1, 2]. Эффективным приемом может стать создание таких биологических СЗР на основе эндофитных стимулирующих рост растений бактерий (СРРБ), которые могут жить внутри растений, не вызывая у них болезней [3]. По сравнению с почвенными микроорганизмами эндофиты внутри растений могут оказывать более сильное и прямое воздействие на растения. Эндофиты благодаря синтезу различных метаболитов проявляют антагонизм к патогенам и/или инсектицидность, способность к мобилизации и/или фиксации элементов минерального питания, деградации токсинов, индукции устойчивости к стрессовым факторам, стимуляции роста растений и фитоиммунитета. Также эндофиты более устойчивы к воздействию факторов окружающей среды; все это предполагает их активное влияние на физиологические характеристики растений и может привести к созданию эффективных биопрепаратов [4].

К сожалению, в настоящее время против насекомых-вредителей, питающихся флоэмным соком (тли, белокрылки и цикадки), имеется ограниченное количество биологических СЗР и борьба с этими вредителями ограничивается применением химических системных инсектицидов, загрязняющих окружающую среду [1]. Актуальной задачей является поиск новых перспективных штаммов эндофитных бактерий и изучение механизмов их действия при развитии иммунитета против вредителей. Данная работа посвящена изучению роли бактерий рода *Bacillus* в развитии защитных реакций в растениях пшеницы к обыкновенной черемуховой тле *Rhopalosiphum padi* L.

Обыкновенная черемуховая тля относится к мигрирующим видам тлей и распространена повсеместно: на севере Евразии, Кольском полуострове, в Средней Азии, Приморье, Сибири, Казахстане и Закавказье [5]. Первичными растениями-хозяевами для черемуховой тли являются различные виды слив, а также черемуха, вторичными становятся злаки и растения из других семейств однодольных [6]. *R. padi* наносит значительный ущерб посевам пшеницы, так как воздействие тлей на растение обусловлено снижением скорости фотосинтеза, и как следствие скорости роста, при изъятии флоэмного сока во время кормления тлей [7, 8]. Применение биопрепаратов на основе эндофитных бактерий, способных долговременно защищать растения от вредителей, будет способствовать отказу от использования химических СЗР и гарантировать получение экологически чистой продукции, свободной от различных канцерогенов.

Один из механизмов защиты растений с помощью СРРБ связан с элиситорной активностью бактериальных метаболитов и запуском системной индуцированной устойчивости в растениях. Системная устойчивость осуществляется благодаря бактериальным детерминантам (МAMPs, от *microbe-associated molecular patterns*), таким как флагеллин, липополисахариды, сидерофоры, антибиотики, биосурфактанты, а также летучие органические соединения и регулируется фитогормонами – жасмоновой (ЖК) и салициловой (СК) кислотами, этиленом, абсцизовой кислотой (АБК), а также цитокининами (ЦК) и ауксинами [1, 2, 9, 10].

Отличительной особенностью системной устойчивости, опосредованной стимулирующими рост растений бактериями, является развитие устойчивости по механизму прайминга, который заключается в более быстрой и сильной активации клеточных механизмов защиты растения при атаке патогенами или вредителями и может длиться весь вегетационный период и даже передаваться по наследству [10–12]. Устойчивость, опосредованная бактериями и развивающаяся по пути прайминга, проявляется в регуляции экспрессии генов макроорганизма на различных этапах его взаимодействия с вредными организмами. Ранние ответы характеризуются быстрым накоплением активных форм кислорода (АФК), которые активируют редокс-чувствительные транскрипционные факторы (ERF, MYB, MYC, WRKY) и гены защитных белков [9, 10]. В долгосрочные ответы вовлекается эпигенетическая регуляция экспрессии генов растения, включающая (де)метиляцию ДНК и РНК-направленное метилирование ДНК (RNA-directed DNA Methylation – RdDM) при участии малых РНК растений (small RNAs – sRNAs) [12, 13]. Механизмы всех этих процессов и их регуляцию активно изучают последние несколько лет [10, 12].

В настоящее время явление РНК-интерференции (РНКи или РНК сайленсинг) и малые РНК также рассматривают как важные регуляторы перепрограммирования экспрессии генов в иммунных реакциях растений, вирулентности патогена или вредителя и коммуникации в растительно-микробных взаимодействиях [14, 15]. Производство малых РНК осуществляется с помощью ряда ключевых ферментов, таких как Dicer-подобные белки (Dicer-like – DCL), белки Argonaute (AGO) и РНК-зависимые РНК полимеразы (RNA-dependent RNA polymerases – RdR) [14, 16]. Бактерии могут быть индукторами экспрессии малых РНК в растениях посредством запуска системной устойчивости, однако механизм этого процесса еще плохо изучен [2]. Тем не менее, установлено, что фитогормоны играют регулируемую роль в перепрограммировании генома, в процессах РНК-интерференции и (де)метиляции ДНК при развитии прайминга [2, 17]. Таким образом, именно гормональные сигнальные пути могут играть одну из главных ролей в регуляции процесса прайминга при развитии системной устойчивости, опосредованной бактериями, при этом этот вопрос требует глубокого изучения, так как на данный момент в литературе присутствует разрозненная информация об участии фитогормонов в работе системы РНКи [2].

В последнее время стали появляться работы, свидетельствующие о развитии защитных реакций в растениях под влиянием эндофитных бактерий при атаке насекомыми [18, 19]. Однако большинство исследовательских работ и обзоров посвящено изучению влияния бактерий на развитие системной индуцированной устойчивости в растениях против насекомых с грызущим ротовым аппаратом [18]. Гораздо меньше работ о влиянии эндофитных бактерий на иммунные реакции растений против насекомых, питающихся флоэмным соком [19–21]. При этом показано, что бактерии запускают системную устойчивость в растениях против насекомых, питающихся флоэмным соком по этилен/ЖК- и СК-защитным путям [20–22]. Важную роль в индукции системной индуцированной устойчивости, опосредованной эндофитными бактериями, могут играть бактериальные метаболиты, такие как липопептиды и Сгу-белки [20–24]. Влияние бактерий на регуляцию механизма РНКи при развитии системной индуцированной устойчивости в растениях начали изучать последние несколько лет, и на данный момент показана роль бактерий в этом процессе только при формировании системной устойчивости против патогенов [25, 26].

Цель исследований – изучение влияния нескольких штаммов и изолятов эндофитных бактерий рода *Bacillus*, продуцирующих липопептиды и/или Сгу-белки, на индукцию системной индуцированной устойчивости и активацию компонентов

системы РНКи в растениях пшеницы заселенных обыкновенной черемуховой тлей *Rhopalosiphum padi* L.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в лаборатории ИБГ УФИЦ РАН в период с августа 2022 г. по апрель 2023 г. Обыкновенную черемуховую тлю (*R. padi*) для экспериментов размножали на молодых проростках мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Салават Юлаев (СЮ), выращенных в изолированных сосудах с прожаренной при 180 °С почвой в контролируемых лабораторных условиях на светоплощадках с 16-часовым световым периодом при температуре 20/24 °С (ночь/день), интенсивность света – 146 Вт/м² (лампы Osram L 36W/77). Эксперименты проводили на том же сорте яровой пшеницы Салават Юлаев. В работе использовали бактерии из коллекции Института биохимии и генетики УФИЦ РАН: два штамма *Bacillus subtilis* 26Д (ВНИИСХМ, №128) и 11ВМ (ВНИИСХМ №519), два штамма *B. thuringiensis* В-5351 и В-6066 и два изолята *Bacillus sp.* Tas1 и Tas8.2, выделенные из листьев пшеницы, произрастающих на территории Республики Башкортостан (<http://ibg.anrb.ru/wp-content/uploads/2019/04/Katalog-endofit.doc>).

Бактерии культивировали на жидкой питательной среде Luria Bertani (LB) при 22–24 °С на шейкере Orbital Shaker-Incubator ES-20 (BioSan, Латвия) при 120 об./мин. Экспериментальные семена пшеницы перед посадкой обрабатывали полусухим способом 2 мкл суспензии бактерий с титром 10⁹ на 1 грамм семян. Эксперименты с растениями проводили на проростках пшеницы, выращенных на гидропонной культуре (10 % раствор Хогланда-Арнона) [27]. Проростки в возрасте трех суток заселяли тлями разных возрастов в количестве не менее 10 особей на растение. Смертность тлей и выносливость растений подсчитывали через 14 дней, как описано в ранее опубликованной нами работе [27].

Из контрольных и опытных листьев пшеницы, зафиксированных в жидком азоте, через 72 часа после заселения обыкновенной черемуховой тлей (*R. padi*), проводили выделение РНК с использованием реагента «Лира» согласно протоколу фирмы-поставщика («Biolabmix», Россия). Анализ экспрессии генов, кодирующих ферменты системы РНК-интерференции и защитные белки (PR-белки, от pathogenesis related) проводили методом количественной ПЦР в режиме реального времени на приборе «iCycler iQ5 Real-Time PCR Detection System» («BioRad», США) с использованием интеркалирующего красителя SYBR Green I («Синтол», Россия). ПЦР в реальном времени проводили как описано в ранее опубликованной нами работе [28], с использованием праймеров для генов, кодирующих следующие ферменты РНКи: *TaAGO1* (JQ805149.1), *TaAGO2* (KY794780), *TaAGO4* (JQ805150.1), *TaDCL2* (KY794782.1), *TaDCL4* (KY794783.1), а также PR-гены: *PR1* (AF384143), *PR2* (DQ090946), *PR3* (AB029936.1), *PR6* (EU293132.1) и *PR9* (TC151917). Для нормирования результатов экспрессии исследуемых генов использовали праймеры к гену конститутивно экспрессирующегося белка ингибитора РНКаз (RNase L inhibitor-like) *TaRLI* (AY059462). Все праймеры были разработаны с помощью онлайн ресурса IDT PrimerQuest (<http://eu.idtdna.com/PrimerQuest/Home>).

Все эксперименты повторяли три раза и проводили в трех биологических и трех аналитических повторах (общее n = 9). Тесты на плодовитость тли включали в себя не менее 10 биологических повторов (общее n = 30). В таблицах и на рисунках приведены средние арифметические значения и их доверительные интервалы, рассчитанные по стандартным ошибкам. Достоверность различий между вариантами опыта оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) в соответствии с тестом Дункана при доверительном уровне $p \leq 0,05$ с использованием программного обеспечения STATISTICA 10.0.

Результаты и их обсуждение

Все шесть штаммов и изолятов рода *Bacillus*, использованные в данной работе, являются эндофитами. Эндофитность штаммов *B. subtilis* 26Д, *B. subtilis* 11ВМ, *B. thuringiensis* В-5351 и В-6066 была проверена ранее [29]. Изоляты *Bacillus sp.* Tas1 и *Bacillus sp.* Tas8.2 являются эндофитами, так как выделены из внутренних тканей растений пшеницы. Все шесть штаммов и изолятов рода *Bacillus* синтезируют цитокинины и ауксины [29]. Наибольшее содержание цитокининов обнаружено в культуральной среде штамма *B. subtilis* 26Д и изолята *Bacillus sp.* Tas8.2, а наибольшее содержание индолил уксусной кислоты – в культуральной среде штаммов *B. subtilis* 11ВМ и *B. thuringiensis* В-5351 [29].

Кроме того, ранее была изучена способность штаммов и изолятов продуцировать липопептиды и было показано, что штаммы *B. subtilis* 26Д, *B. thuringiensis* В-5351 и изоляты *Bacillus sp.* Tas1 и *Bacillus sp.* Tas8.2 продуцируют липопептид сурфактин, штамм *B. subtilis* 11ВМ – липопептид итурин, а штамм *B. thuringiensis* В-6066 – липопептид фенгицин [21, 29]. Продукция липопептидов может играть важную роль в инсектицидности бактериальных штаммов [21]. Так, в настоящее время показана инсектицидная активность липопептидов бактерий *Bacillus spp.* против отрядов Diptera, Coleoptera, Hemiptera и Lepidoptera [21, 30]. Однако также показана элиситорная роль липопептидов и их способность запускать системную устойчивость в растениях против патогенов и вредителей [20, 21, 24].

В дальнейшей работе было изучено опосредованное через растение влияние бактериальных штаммов и изолятов *Bacillus spp.* на выносливость растений, заселенных черемуховой тлей, и на смертность тли, кормившейся на обработанных растениях (таблица 1). Опосредованное влияние может выражаться в рост-стимулирующем эффекте бактерий, приводящем к повышению выносливости (толерантности) растений к тлям, которая заключается в быстроте восстановления фотосинтетической активности и ростовых процессов [8, 18]. В наших экспериментах установлена невысокая выносливость растений пшеницы сорта Салават Юлаев по отношению к черемуховой тле *R. padi*, которая проявлялась в торможении роста первого листа на 17,5 % по сравнению с контрольными растениями. Предпосевная обработка растений бактериальными штаммами и изолятами ускоряла рост первого листа пшеницы при заселении тлей. Таким образом, эндофитные бактерии, влияя на рост растений, формировали определенную степень толерантности растений к вредителю. При этом предпосевная обработка семян пшеницы бактериями увеличивала смертность тлей, кормившихся на таких растениях, на 17–48 % относительно необработанных растений, где смертность тли составила 9,5 %. Наибольший опосредованный эффект на смертность тли оказывали штаммы *B. subtilis* 26Д, *B. thuringiensis* В-6066, *B. thuringiensis* В-5351 и изолят *Bacillus sp.* Tas8.2.

Такой результат опосредованного влияния на жизнедеятельность черемуховой тли может быть связан с запуском бактериями системной индуцированной устойчивости в растениях против вредителя. Для определения способности бактерий рода *Bacillus spp.* регулировать системную устойчивость в растениях пшеницы к *R. padi* была изучена экспрессия генов, кодирующих PR-белки, маркеры салицилат- и этилен/жасмонат-сигнальных путей. Белки PR-1, PR-2 (глюкоаназы) являются маркерами сигнального пути салициловой кислоты. Белки PR-3 (хитиназы) считаются маркерами этиленового сигнального пути, а PR-6 (ингибиторы протеиназ) – маркерами сигнального пути жасмоновой кислоты. Белки PR-9 (пероксидазы) индуцируются как сигнальным путем салициловой кислоты, так и сигнальным путем жасмоновой кислоты [9].

Таблица 1 – Опосредованное влияние бактериальных штаммов и изолятов *Bacillus spp.* на смертность обыкновенной черемуховой тли *R. padi* и выносливость растений пшеницы, заселенных тлей

Штамм и изолят	Смертность тлей, %	Прирост первого листа, % от контроля*
Вода	9,5 ± 1,7a	82,5 ± 4,2a
<i>B. subtilis</i> 26Д	41,2 ± 3,8b	108,9 ± 5,1b
<i>B. subtilis</i> 11ВМ	26,5 ± 2,7c	101,2 ± 4,3b
<i>B. thuringiensis</i> В-6066	54,4 ± 4,5d	102,6 ± 4,9b
<i>B. thuringiensis</i> В-5351	57,6 ± 4,3d	101,5 ± 6,2b
<i>Bacillus sp.</i> Tas8.2	37,4 ± 4,3b	109,2 ± 6,1b
<i>Bacillus sp.</i> Tas1	28,7 ± 2,5c	105,4 ± 5,4b

Примечание. *Прирост первого листа, не обработанного бактериальными штаммами и незаселенного тлей, принят за 100 %. Варианты в одном столбце, обозначенные разными латинскими буквами, статистически отличаются друг от друга согласно тесту Дункана при $p \leq 0,05$.

Во многих работах показано, что заселение растений тлями вызывает в первую очередь индукцию жасмонат-зависимых генов липоксигеназ и ингибиторов протеиназ, что говорит о повреждении тканей растений стилетами тлей [7]. При дальнейшем питании тлей активируется салицилат-зависимый сигнальный путь и растения реагируют на атаку тлей как на патогены [7]. Так, активацию жасмонат-зависимых генов наблюдали у восприимчивых и у устойчивых к тле растений, а индукция салицилат-зависимых генов была более ранней и сильной у устойчивых генотипов [7]. Об активации этиленового сигнального пути и его роли в защите растений от насекомых, питающихся флоэмным соком, известно мало [21, 22]. В некоторых исследованиях наблюдали повышение уровня этилена в сортах ячменя, устойчивых к обыкновенной злаковой тле *Schizaphis graminum* и обыкновенной черемуховой тле *R. padi* [22]. В другой работе показано, что передача сигналов этилена способствует заселению тлей на восприимчивые растения, но индуцирует антиксеноз при заселении на устойчивые растения [31].

Наши результаты показали, что через 72 часа после заселения черемуховой тлей средневосприимчивого сорта Салават Юлаев в листьях растений повышалось содержание транскриптов генов *PR-2*, *PR-3*, *PR-6* и *PR-9* – маркеров этилен-, жасмонат- и салицилат- сигнальных путей (рисунок 1).

При заселении черемуховой тлей растений, предварительно обработанных бактериальным штаммом *B. subtilis* 26Д или изолятом *Bacillus sp.* Tas8.2, наблюдали накопление мРНК гена *PR-2* и более сильное, чем у необработанных бактериями растений, накопление мРНК генов *PR-3* и *PR-9* (рисунок 1 а, е). Кроме этого, у таких растений обнаружено значительное накопление транскриптов гена *PR-1* (рисунок 1 А, Е). Предпосевная обработка штаммами *B. thuringiensis* В-6066 и *B. thuringiensis* В-5351 также индуцировала более сильное накопление мРНК гена *PR-3* по сравнению с необработанными бактериями растениями через 72 часа после заселения черемуховой тлей (рисунок 1 В, Г). Обработка растений *B. thuringiensis* В-6066 положительно влияла на экспрессию гена *PR-9*, но в меньшей степени, чем у необработанных бактериями и заселенных тлей растений (рисунок 1 В). Вместе с тем, у растений, обработанных штаммами *B. thuringiensis* В-6066 и *B. thuringiensis* В-5351 и заселенных тлей, обнаружена значительная индукция экспрессии гена *PR-6* – маркера сигнального пути жасмоновой кислоты (рисунок 1 В, Г). Также на индукцию транскрипции гена *PR-6* влияла обработка изолятом *Bacillus sp.* Tas1, но в гораздо меньшей степени, чем обработка штаммами *B. thuringiensis* В-6066 и *B. thuringiensis* В-5351 (рисунок 1 Д). Предпосевная обработка штаммом *B. subtilis* 11ВМ индуцировала накопление транскриптов только гена *PR-9*, но в меньшей степени, чем у необработанных бактериями и заселенных тлей растений (рисунок 1 Б).

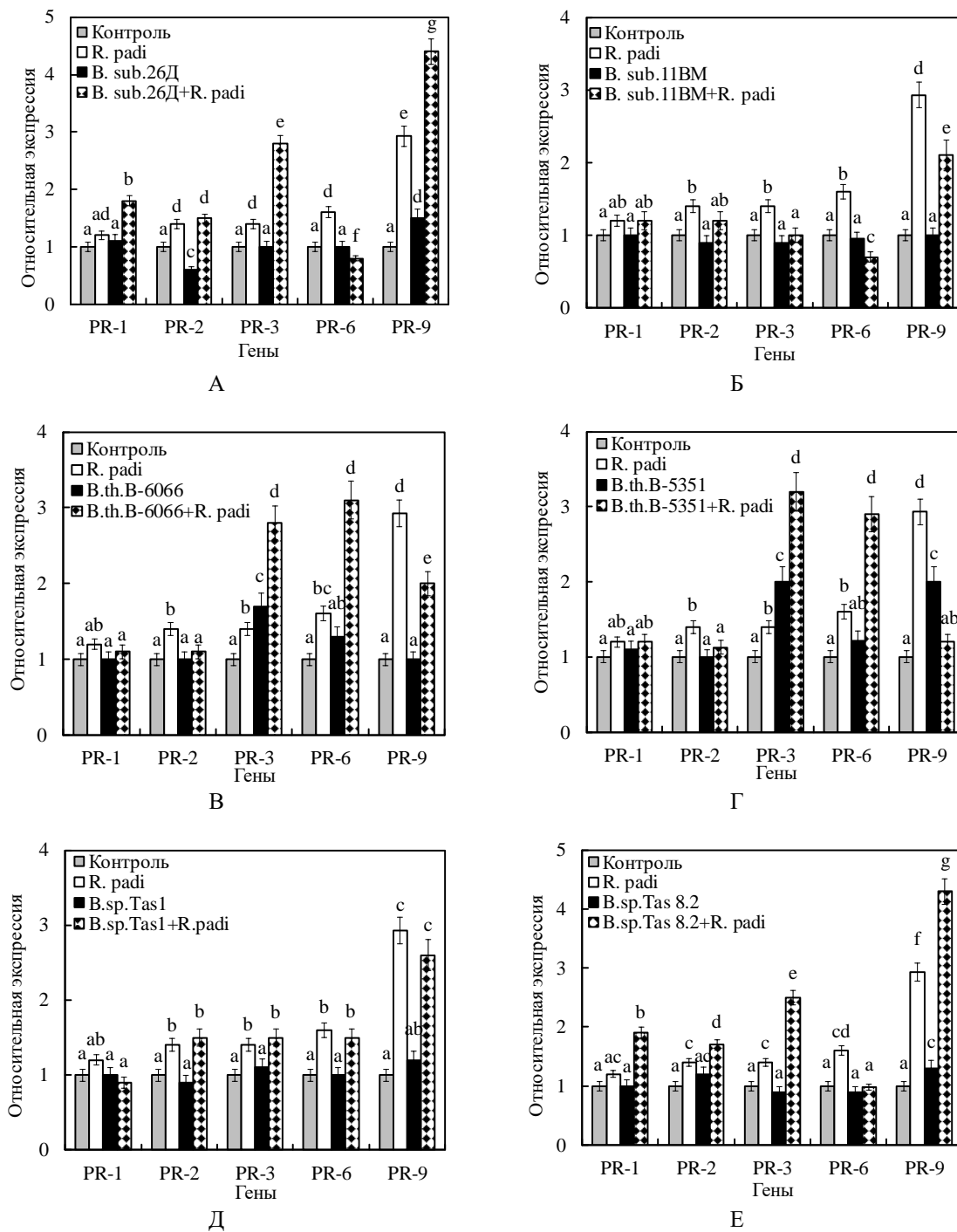


Рисунок 1 – Влияние бактериальных штаммов и изолятов *Bacillus* spp. на транскрипционную активность генов, кодирующих PR-белки пшеницы, маркеры сигнальных путей PR-1, PR-2, PR-3, PR-6 и PR-9, через 72 часа после заселения растений обыкновенной черемуховой тлей *R. padi* L.

Примечание. Здесь и далее: А: *B. sub.26Д* – *B. subtilis* 26Д; Б: *B. sub. 11BM* – *B. subtilis* 11BM; В: *B.th. B-6066* – *B. thuringiensis* B-6066; Г: *B.th. B-5351* – *B. thuringiensis* B-5351; Д: *B. sp. Tas1* – *Bacillus* sp. *Tas1*; Е: *B. sp. Tas8.2* – *Bacillus* sp. *Tas8.2*. Варианты на одной гистограмме, обозначенные разными латинскими буквами, статистически отличаются друг от друга согласно тесту Дункана при $p \leq 0,05$.

Таким образом, черемуховая тля индуцировала в растениях пшеницы средневосприимчивого сорта Салават Юлаев этилен-, жасмонат- и салицилат-сигнальные пути. Обработка бактериями *B. subtilis* 26Д и *Bacillus sp.* Tas8.2 индуцировала этилен- и салицилат- сигнальные пути, а обработка бактериями *B. thuringiensis* В-6066 и *B. thuringiensis* В-5351 – жасмонат- и этилен-сигнальные пути защиты у растений пшеницы заселенных черемуховой тлей (рисунок 1). Именно эти бактерии оказали наибольший положительный эффект на устойчивость растений пшеницы к черемуховой тле и привели к высокой смертности тли на растениях (таблица 1). Однако обработка этими бактериальными штаммами и изолятами индуцировала системную устойчивость в растениях к тле по различным гормональным сигнальным путям, что может быть связано с видовой принадлежностью бактерий и синтезом различных групп метаболитов [18, 28]. Согласно литературным данным, бактерии *B. subtilis* способны индуцировать системную устойчивость в растениях по салицилат-зависимому пути, а бактерии *B. thuringiensis* могут индуцировать системную устойчивость по салицилат-независимому, но этилен/жасмонат-зависимому пути [9, 28]. Так, штаммы *Bacillus pumilis* и *Bacillus amyloliquefaciens* индуцировали системную устойчивость в растениях хлопчатника против малой совки *Spodoptera exigua* по этилен/жасмонат-зависимому пути [32]. А бактерии *Pseudomonas fluorescens* индуцировали системную устойчивость в растениях *Arabidopsis thaliana* против персиковой тли *Myzus persicae* по салицилат- и жасмонат-зависимым путям [33]. Также было показано, что штаммы *B. thuringiensis* (В-5689 и В-6066) индуцировали гены жасмонат-зависимого защитного пути, а штамм *B. subtilis* 26Д запускал гены салицилат-защитного пути у растений пшеницы заселенных обыкновенной злаковой тлей *Schizaphis graminum* [27].

В регуляции системной индуцированной устойчивости, опосредованной бактериями и развивающейся по пути прайминга, играют важную роль не только гормональные сигнальные пути, но и система РНК-интерференции и малые РНК [2, 17]. Белки DCL и AGO являются наиболее важными компонентами механизма РНК-интерференции в защите растений, поскольку малые РНК генерируются DCL и функционируют через AGO, подавляя гены-мишени [14]. Показано, что белки DCL и AGO участвуют в индукции устойчивости растений к вирусам, патогенам и вредителям через механизм сайленсинга генов, регуляцию экспрессии собственных генов, а также запускают системную устойчивость [14]. В отдельных работах была изучена экспрессия двух генов, кодирующих Dicer-подобные белки DCL2 и DCL4 и участвующих в регуляции иммунитета растений против вирусов и насекомых-вредителей [14, 34]. Также изучали экспрессию трех генов, кодирующих белки Argonaute AGO1, AGO2 и AGO4, играющих роль во взаимодействии растений и микроорганизмов, в развитии защитных реакций в ответ на стрессовые факторы и участвующих в РНК-направленном метилировании ДНК [14].

Анализ экспрессии генов ферментов системы РНКи у средневосприимчивого сорта Салават Юлаев показал накопление транскриптов всех пяти генов *AGO1*, *AGO2*, *AGO4*, *DCL2* и *DCL4* через 72 часа после заселения тлей (рисунок 2).

Однако только у двух генов *AGO4* и *DCL2* обнаружено значительное повышение транскриптов – в 5 раз и в 3,2 раза соответственно, по сравнению с контролем (рисунок 2). Через 72 часа после заселения тлей у растений, предварительно обработанных бактериальным штаммом *B. subtilis* 26Д или изолятом *Bacillus sp.* Tas8.2, наблюдали значительное накопление мРНК всех пяти генов *AGO1*, *AGO2*, *AGO4*, *DCL2* и *DCL4*, причем в гораздо большей степени, чем у необработанных бактериями и заселенных тлей растений (рисунок 2, А, Е).

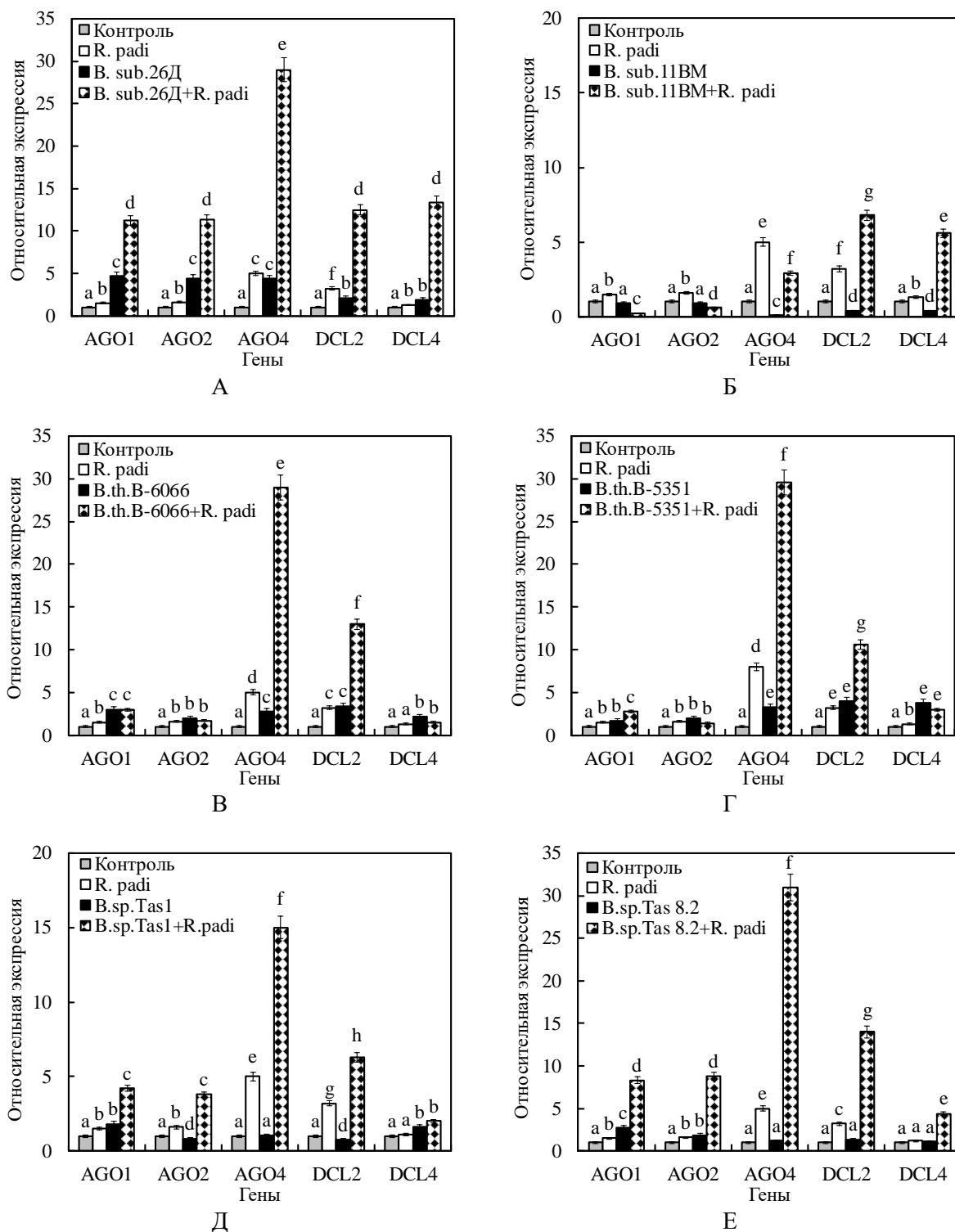


Рисунок 2 – Влияние бактериальных штаммов и изолятов *Bacillus spp.* на транскрипционную активность генов, кодирующих ферменты системы РНКи *AGO1*, *AGO2*, *AGO4*, *DCL2* и *DCL4* пшеницы, через 72 часа после заселения растений обыкновенной черемуховой тлей *R. padi* L.

Обработка растений штаммом *B. subtilis* 26Д или изолятом *Bacillus sp.* Tas8.2 повышала содержание мРНК генов *AGO1* и *AGO2* в 8–11 раз, гена *DCL2* – примерно в 13–14 раз, а гена *AGO4* – в 30 раз по сравнению с контрольными растениями. На

экспрессию гена *DCL4* бактерии влияли в разной степени: через 72 часа после заселения растений тлей обработка штаммом *B. subtilis* 26Д увеличивала содержание транскриптов этого гена в 13 раз, а обработка изолятом *Bacillus sp.* Tas8.2 – в четыре раза по сравнению с контролем. Обработка изолятом *Bacillus sp.* Tas1 влияла на экспрессию генов *AGO1*, *AGO2*, *AGO4*, *DCL2* и *DCL4* также, как изолят *Bacillus sp.* Tas8.2, но в меньшей степени – содержание мРНК изученных генов повышалось в 4, 4, 15, 6 и 2 раза соответственно по сравнению с контролем (рисунок 2, Д). Обработка штаммом *B. subtilis* 11ВМ у заселенных тлей растений снижала содержание транскриптов генов *AGO1* и *AGO2*, только в три раза повышала содержание мРНК гена *AGO4*, в семь и шесть раз повышала содержание транскриптов генов *DCL2* и *DCL4* по сравнению с контролем (рисунок 2, Б). Обработка растений штаммами *B. thuringiensis* В-6066 и *B. thuringiensis* В-5351 больше всего увеличивала содержание мРНК генов *AGO4* и *DCL2* – соответственно в 30 и 12 раз, в меньшей степени повышала содержание транскриптов гена *AGO1* – примерно в три раза по сравнению с контролем, и практически не влияла на экспрессию генов *AGO2* и *DCL4* (рисунок 2, В, Г). Таким образом, бактериальные штаммы и изоляты влияли на экспрессию всех изученных генов компонентов РНК-интерференции, но в особенности на экспрессию генов *AGO4* и *DCL2*.

Известно, что белки *DCL2* и *DCL4*, обеспечивающие процессинг двуцепочечных РНК, участвуют в развитии защитных ответов растений к вирусам и патогенам [2, 35]. Было показано участие *DCL4* в развитии устойчивости растений табака *Nicotiana attenuata* к личинкам табачного бражника *Manduca sexta* [34], а бахчевая тля *Aphis gossypii* индуцировала экспрессию генов всех классов *DCL* у растений хлопчатника, в том числе генов *DCL2* и *DCL4*, причем содержание транскриптов гена *DCL2* было в шесть раз больше у устойчивого сорта, чем у восприимчивого [36]. В данной работе черемуховая тля индуцировала накопление мРНК гена *DCL2*, но не *DCL4* (см. рисунок 2). Обработка всеми изученными бактериальными штаммами и изолятами индуцировала повышение транскриптов обоих генов *DCL2* и *DCL4*, но *DCL2* в большей степени, что можно связать с развитием устойчивости растений к тле [36]. Наши результаты согласуются с недавно полученными данными на мутантах *Arabidopsis thaliana dcl1-9*, дефектных по синтезу *DCL*-белков о том, что для индукции устойчивости в растениях бактериальному штамму *Bacillus cereus* AR156 требовались белки *DCL* [26]. В некоторых работах была показана чувствительность *DCL2* к салициловой кислоте и этилену при развитии устойчивости к вирусной инфекции [2, 37], а в промоторной области генов *DCL2*, *DCL3* и *DCL4* хлопчатника были обнаружены чувствительные элементы к фитогормонам этилену, гиббереллинам и метилжасмонату [36]. Как показали наши результаты, изученные бактерии запускали в растениях системную индуцированную устойчивость по салицилат-, этилен- или жасмонат/этилен-сигнальным путям.

Роль белков *AGO* в развитии иммунных реакций растений хорошо изучена при вирусной, бактериальной и грибной инфекции [14]. Мутанты *ago1* с потерей функции показывали уменьшение устойчивости к бактериальным патогенам, а мутанты *ago1-27* проявляли повышенную устойчивость к заражению грибковыми патогенами *Verticillium dahlia* и *Botritis cinerea* [14]. Было показано участие *AGO1* в индукции биосинтеза глюкозинолата, ингибирующего питание персиковой тли на растениях *A. thaliana* [38]. Полагают, что *AGO1* является основным регулятором всех путей защиты растений [39]. Так, на мутантах *ago1-27* бактериальный штамм *B. cereus* AR156 не мог индуцировать защитные реакции против бактериальной инфекции [26]. Экспрессия гена *AGO1* индуцируется как жасмонат-сигнальным путем, так и салицилат- и этилен-сигнальными путями [14, 39]. В данной работе черемуховая тля слабо индуцировала экспрессию гена *AGO1* в растениях пшеницы, а бактериальные штаммы и изоляты, за исключением штамма *B. subtilis* 11ВМ, значительно повышали транскрипцию этого

гена. В большей степени увеличивали содержание мРНК гена *AGO1* бактерии, которые индуцировали салицилат- и этилен-сигнальные пути – *B. subtilis* 26Д, *Bacillus sp.* Tas8.2 и *Bacillus sp.* Tas1, и в меньшей степени бактерии, которые индуцировали жасмонат- и этилен-сигнальные пути – *B. thuringiensis* B-6066 и *B. thuringiensis* B-5351 (см. рисунок 2).

Напротив, индукцию экспрессии гена *AGO2* активировали только три бактерии – *B. subtilis* 26Д, *Bacillus sp.* Tas8.2 и *Bacillus sp.* Tas1, которые индуцировали салицилат- и этилен-сигнальные пути (см. рисунок 2), что согласуется с литературными данными. Так, была выявлена важная роль белка *AGO2* и *miR393b** при индукции устойчивости растений *A. thaliana* к бактерии *Pseudomonas syringae*, проявляющейся в замалчивании синтеза белка MEMB12, что приводило к усилению секреции патоген-индуцируемого белка PR-1 маркера – сигнального пути салициловой кислоты в апопласт и повышению устойчивости растений к бактерии [2]. Также показано влияние этиленового сигнального пути на повышение экспрессии гена *AGO2* при развитии устойчивости к вирусной инфекции [37].

Белки *AGO4* – наиболее изученные *AGO* в пути РНК-направленного метилирования ДНК при формировании устойчивости растений к бактериальным патогенам [14]. Экспрессия *AGO4* подавлялась в ответ на бактериальную инфекцию или обработку флагеллином *flg22*, что впоследствии снижало метилирование ДНК в локусах защитных генов [14]. Кроме того, мутанты по гену *ago4* оказывались восприимчивыми к вирусной и грибковой инфекции, причем замалчивание синтеза *AGO4* нарушало работу сигнального пути жасмоновой кислоты [34]. Недавно было показано, что у мутантов *ago4* с нарушенной функцией РНК-направленного метилирования ДНК снижалась экспрессия транскрипционных факторов этиленового сигнального пути из семейства ERF, участвующих в защитном ответе растений *A. thaliana* при заселении персиковой тлей *Myzus persicae* [40]. Однако биологические функции *AGO4* сложны и требуют дальнейшего изучения [34]. В данной работе экспрессию гена *AGO4* у растений пшеницы индуцировала черемуховая тля, но обработка бактериями влияла на транскрипцию этого гена гораздо сильнее, что, скорее всего, можно связать с развитием устойчивости к тле и активацией бактериями этиленового сигнального пути (см. рисунок 2). Так, недавно было показано, что для активации этиленового сигнального пути требуется метилирование генов, контролирующих синтез этилена, передачу сигналов в цитоплазме и ядре и ответ на стрессовые факторы [41].

Предположительно в процессе активации механизма РНК-интерференции у растений при бактериальной обработке участвуют метаболиты бактерий, такие как липопептиды. Мутантный штамм *B. amyloliquefaciens* FZB42 Δ sfp Δ alss с подавленным синтезом сурфактина был не способен запускать системную индуцированную устойчивость в растениях *A. thaliana* к *Pseudomonas syringae* и не влиял на экспрессию микроРНК, ассоциированных с защитой, в отличие от материнского штамма *B. amyloliquefaciens* FZB42 [25]. В нашей работе штаммы *B. subtilis* 26Д, *B. thuringiensis* B-5351 и изоляты *Bacillus sp.* Tas1 и *Bacillus sp.* Tas8.2, больше всего влияющие на экспрессию генов *AGO* и *DCL*, продуцировали сурфактин, а штамм *B. thuringiensis* B-6066 – фенгицин [21, 29]. Изучение роли сурфактина в индукции РНК-интерференции у растений станет предметом наших дальнейших исследований.

Выводы

Таким образом, изученные в нашей работе эндофитные липопептид-синтезирующие штаммы и изоляты *Bacillus spp.*, опосредованно через растения увеличивали смертность черемуховой тли *R. padi* на 17–48 % и повышали толерантность растений к тле, увеличивая рост листа на 19–26 % по сравнению с необработанными заселенными тлей растениями. Наибольший опосредованный эффект на смертность тли оказали штаммы *B. subtilis* 26Д, *B. thuringiensis* B-6066, *B.*

thuringiensis B-5351 и изолят *Bacillus sp.* Tas8.2. Однако эти бактерии активировали системную индуцированную устойчивость, регулируя работу разных гормональных сигнальных путей. Обработка бактериями *B. subtilis* 26Д и *Bacillus sp.* Tas8.2 индуцировала этилен- и салицилат-сигнальные пути, а обработка бактериями *B. thuringiensis* B-6066 и *B. thuringiensis* B-5351 – жасмонат- и этилен-сигнальные пути защиты у растений пшеницы, заселенных черемуховой тлей. При этом сигнальный путь этилена у них был общим. Также наши результаты показали, что бактериальные штаммы и изоляты регулировали активацию системной устойчивости к черемуховой тле *R. padi* через механизм РНК-интерференции. Обработка растений бактериальным штаммом *B. subtilis* 26Д или изолятом *Bacillus sp.* Tas8.2 приводила к значительному накоплению мРНК всех пяти изученных генов: *AGO1*, *AGO2*, *AGO4*, *DCL2* и *DCL4*. Обработка растений штаммами *B. thuringiensis* B-6066 и *B. thuringiensis* B-5351 увеличивала содержание мРНК генов *AGO1*, *AGO4* и *DCL2*. В большей степени три бактериальных штамма и изолят влияли на экспрессию генов *AGO4* и *DCL2*, повышая ее в 30 и 12–14 раз соответственно по сравнению с контролем. Из результатов следует, что сигнальный путь этилена, ферменты *AGO4* и *DCL2* играют важную роль в индукции устойчивости пшеницы к черемуховой тле *R. Padi*, опосредованной бактериальными штаммами *B. subtilis* 26Д, *B. thuringiensis* B-6066, *B. thuringiensis* B-5351 и изолятом *Bacillus sp.* Tas8.2. Таким образом, изученные в данной работе бактериальные штаммы и изоляты являются перспективными кандидатами для создания эффективных биопрепаратов для защиты растений и повышения урожая. Наша работа является первой, в которой показана способность липопептид-синтезирующих бактерий активировать системную индуцированную устойчивость против насекомых через механизм РНК-интерференции.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-76-00056.

Литература/References

1. Miljakovic D., Marinkovic J., Balešević-Tubić S. The significance of *Bacillus* spp. in disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops // *Microorganisms*. 2020. Vol. 8. Art. No. 1037. DOI: 10.3390/microorganisms8071037.
2. Максимов И. В., Шейн М. Ю., Бурханова Г. Ф. РНК-интерференция в защите растений от грибной и оомицетной инфекции // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2023. Т. 59. № 3. С. 219–234. DOI: 10.31857/S0555109923030133. [Maksimov I. V., Shein M. Yu., Burkhanova G. F. RNA interference in plant protection from fungal and oomycete infection // *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2023. Vol. 58. No. 1. P. 16–31. DOI: 10.1134/S0003683822100106].
3. Rana K. L., Kour D., Kaur T., Devi R., Yadav A. N., Yadav N., Dhaliwal H. S., Saxena A. K. Endophytic microbes: biodiversity, plant growth-promoting mechanisms and potential applications for agricultural sustainability // *Antonie van Leeuwenhoek*. 2020. Vol. 113(8). P. 1075–1107. DOI: 10.1007/s10482-020-01429-y.
4. Xia Y., Liu J., Chen C., Mo X., Tan Q., He Y., Wang Z., Yin J., Zhou G. The multifunctions and future prospects of endophytes and their metabolites in plant disease management // *Microorganisms*. 2022. Vol. 23. Art. No. 1072. DOI: 10.3390/microorganisms10051072.
5. Singh B., Simon A., Halsey K., Kurup S., Clark S., Aradottir G. I. Characterisation of bird cherry-oat aphid (*Rhopalosiphum padi* L.) behaviour and aphid host preference in relation to partially resistant and susceptible wheat landraces // *Ann. Appl. Biol.* 2020. Vol. 177(2). P. 184-194. DOI: 10.1111/aab.12616.
6. Radchenko E. E., Abdullaev R. A., Anisimova I. N. Genetic resources of cereal crops for aphid resistance // *Plants*. 2022. Vol. 11. Art. No. 1490. DOI: 10.3390/plants11111490.
7. Morkunas I., Mai V. C., Gabrys B. Phytohormonal signaling in plant responses to aphid feeding // *Acta Physiol. Plant.* 2011. Vol. 33. No. 6. P. 2057–2073. DOI: 10.1007/s11738-011-0751-7.
8. Koch K. G., Chapman K., Louis J., Heng-Moss T., Sarath G. Plant tolerance: a unique approach to control hemipteran pests // *Front. Plant Sci.* 2016. Vol. 7. Art. No. 1363. DOI: 10.3389/fpls.2016.01363.
9. Pieterse C. M., Zamioudis C., Berendsen R. L., Weller D. M., van Wees S. C., Bakker P. A. Induced systemic resistance by beneficial microbes // *Annu. Rev. Phytopathol.* 2014. Vol. 52. P. 347–375. DOI: 10.1146/annurev-phyto-082712-102340.
10. Yu Y., Gui Y., Li Z., Jiang C., Guo J., Niu D. Induced systemic resistance for improving plant immunity by beneficial microbes // *Plants*. 2022. Vol. 11. Art. No. 386. DOI: 10.3390/plants11030386.

11. Conrath U., Beckers G. J., Flors V., García-Agustín P., Jakab G., Mauch F., Newman M. A., Pieterse C. M., Poinssot B., Pozo M. J., Pugin A., Schaffrath U., Ton J., Wendehenne D., Zimmerli L., Mauch-Mani B. Priming: getting ready for battle // *Mol. Plant Microbe Interact.* 2006. Vol. 19. P. 1062–1071. DOI: 10.1094/MPMI-19-1062.
12. Tiwari M., Pati D., Mohapatra R., Sahu B. B., Singh P. The impact of microbes in plant immunity and priming induced inheritance: a sustainable approach for crop protection // *Plant Stress.* 2022. Vol. 4. Art. No. 100072. DOI: 10.1016/j.stress.2022.100072.
13. Ванюшин Б. Ф. Метилирование ДНК и эпигенетика // *Генетика.* 2006. Т. 42. № 9. С. 1186–1199. [Vanyushin B. F. DNA methylation and epigenetics // *Russian Journal of Genetics.* 2006. Vol. 42. No. 9. P. 985–997. DOI: 10.1134/S1022795406090055].
14. Huang Ch.-Y., Wang H., Hu P., Hamby R., Jin H. Small RNAs – big players in plant-microbe interactions // *Cell Host Microbe.* 2019. Vol. 26. P. 173–182. DOI: 10.1016/j.chom.2019.07.021.
15. Третьякова П. Я., Соловьев А. А. Малые РНК в защите растений от болезней // *Экологическая генетика.* 2020. Т. 18. № 4. С. 467–481. DOI: 10.17816/ecogen35203. [Tretiakova P. Y., Soloviev A. A. Application of small RNAs for plant protection // *Ecological genetics.* 2020. Vol. 18. No. 4. P. 467–481. DOI: 10.17816/ecogen35203].
16. Dubrovina A. S., Kiselev K. V. Exogenous RNAs for gene regulation and plant resistance // *Int. J. Mol. Sci.* 2019. Vol. 20. Art. No. 2282. DOI: 10.3390/ijms20092282.
17. Zhu Q-H., Shan W-X., Ayliffe M. A., Wang M. B. Epigenetic mechanisms: an emerging player in plant-microbe interactions // *Mol. Plant Microbe Interact.* 2016. Vol. 29(3). P. 187–96. DOI: 10.1094/MPMI-08-15-0194-FI.
18. Rashid M. H., Chung Y. R. Induction of systemic resistance against insect herbivores in plants by beneficial soil microbes // *Front. Plant Sci.* 2017. Vol. 8. Art. No. 1816. DOI: 10.3389/fpls.2017.01816.
19. Serteyn L., Quaghebeur C., Ongena M., Cabrera N., Barrera A., Molina-Montenegro M. A., Francis F., Ramírez C. C. Induced systemic resistance by a plant growth-promoting rhizobacterium impacts development and feeding behavior of aphids // *Insects.* 2020. Vol. 11. Art. No. 234. DOI: 10.3390/insects11040234.
20. Rashid M. H., Kim H.-J., Yeom S.-I., Yu H.-A., Manir M. M., Moon S.-S., Kang Y. J., Chung Y. R. *Bacillus velezensis* YC7010 enhances plant defenses against brown planthopper through transcriptomic and metabolic changes in rice // *Front. Plant Sci.* 2018. Vol. 9. Art. No. 1904. DOI: 10.3389/fpls.2018.01904.
21. Rummyantsev S. D., Alekseev V. Y., Sorokan A. V., Burkhanova G. F., Cherepanova E. A., Garafutdinov R. R., Maksimov I. V., Veselova S. V. Additive effect of the composition of endophytic bacteria *Bacillus subtilis* on systemic resistance of wheat against greenbug aphid *Schizaphis graminum* due to lipopeptides // *Life.* 2023. Vol. 13. Art. No. 214. DOI: 10.3390/life13010214.
22. Argandona V. H., Chaman M., Cardemil L., Munoz O., Zuniga G. E., Corcuera L. J. Ethylene production and peroxidase activity in aphid-infested barley // *J. Chem. Ecol.* 2001. Vol. 27. P. 53–68. DOI: 10.1023/a:1005615932694.
23. Palma L., Muñoz D., Berry C., Murillo J., Caballero P. Draft genome sequences of two *Bacillus thuringiensis* strains and characterization of a putative 41.9-kDa insecticidal toxin // *Toxins.* 2014. Vol. 6. P. 1490–1504. DOI: 10.3390/toxins6051490.
24. Tunsagool P., Leelasuphakul W., Jaresitthikunchai J., Phaonakrop N., Roytrakul S., Jutidamrongphan W. Targeted transcriptional and proteomic studies explicate specific roles of *Bacillus subtilis* iturin A, fengycin, and surfactin on elicitation of defensive systems in mandarin fruit during stress // *PLoS ONE.* 2019. Vol. 14. Art. No. e0217202. DOI: 10.1371/journal.pone.0217202.
25. Xie S., Jiang H., Ding T., Xu Q., Chai W., Cheng B. *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 represses plant miR846 to induce systemic resistance via a jasmonic acid-dependent signalling pathway // *Molecular Plant Pathology.* 2018. Vol. 19(7). P. 1612–1623. DOI: 10.1111/mpp.12634.
26. Wang S., Zheng Y., Gu C., He C., Yang M., Zhang X., Guo J., Zhao H., Niu D. *Bacillus cereus* AR156 activates defense responses to *Pseudomonas syringae* pv. tomato in *Arabidopsis thaliana* similarly to flg22 // *MPMI.* 2018. Vol. 31. No. 3. P. 311–322. DOI: 10.1094/MPMI-10-17-0240-R.
27. Веселова С. В., Бурханова Г. Ф., Румянцев С. Д., Благова Д. К., Максимов И. В. Бактерии рода *Bacillus* в регуляции устойчивости пшеницы к обыкновенной злаковой тле *Schizaphis graminum* Rond. // *Прикладная биохимия и микробиология.* 2019. Т. 55. № 1. С. 56–63. DOI: 10.1134/S0555109919010185. [Veselova S. V., Burkhanova G. F., Rummyantsev S. D., Blagova D. K., Maksimov I. V. Strains of *Bacillus* spp. regulate wheat resistance to greenbug aphid *Schizaphis graminum* Rond. // *Applied Biochemistry and Microbiology.* 2019. Vol. 55. No. 1. P. 41–47. DOI: 10.1134/S0003683819010186].
28. Maksimov I. V., Blagova D. K., Veselova S. V., Sorokan A. V., Burkhanova G. F., Cherepanova E. A., Sarvarova E. R., Rummyantsev S. D., Alekseev V. Yu., Khayrullin R. M. Recombinant *Bacillus subtilis* 26DCryChS line with gene BtcryIIa encoding CryIIa toxin from *Bacillus thuringiensis* promotes integrated wheat defense against pathogen *Stagonospora nodorum* Berk. and greenbug *Schizaphis graminum* Rond. // *Biol. Control.* 2020. Vol. 144. Art. No. 104242. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2020.104242.
29. Веселова С. В., Сорокань А. В., Бурханова Г. Ф., Румянцев С. Д., Алексеев В. Ю., Черепанова Е. А., Максимов И. В. Бактерии рода *Bacillus* как перспективный источник для создания

- биопрепаратов от патогенов и вредителей сельскохозяйственных культур // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 4(97). С. 40-45. DOI: 10.21515/1999-1703-97-40-45. [Veselova S. V., Sorokan A. V., Burkhanova G. F., Rumyantsev S. D., Alekseev V. Yu., Cherepanova E. A., Maksimov I. V. Bacteria of the genus *Bacillus* as a promising source for the creation of biological control agents against pathogens and pests of agricultural crops // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2022. No. 4(97). P. 40-45. DOI: 10.21515/1999-1703-97-40-45].
30. Denoirjean T., Ameline A., Couty A., Dubois F., Coutte F., Doury G. Effects of surfactins, *Bacillus* lipopeptides, on the behavior of an aphid and host selection by its parasitoid // Pest Manag. Sci. 2022. Vol. 78. P. 929–937. DOI: 10.1002/ps.6702.
31. Wu C., Avila C. A., Goggin F. L. The ethylene response factor Pti5 contributes to potato aphid resistance in tomato independent of ethylene signaling // J. Exp. Bot. 2015. Vol. 66. P. 559–570. DOI: 10.1093/jxb/eru472.
32. Zebelo S., Song Y., Kloepper J. W., Fadamiro H. Rhizobacteria activates (+)- δ -cadinene synthase genes and induces systemic resistance in cotton against beet armyworm (*Spodoptera exigua*) // Plant Cell Environ. 2016. Vol. 39. P. 935–943. DOI: 10.1111/pce.12704.
33. Pineda A., Zheng S. J., van Loon J. J. A., Dicke M. Rhizobacteria modify plant–aphid interactions: a case of induced systemic susceptibility // Plant Biology. 2012. Vol. 14. No. 1. P. 83–90. DOI:10.1111/j.1438-8677.2011.00549.x.
34. Pradhan M., Pandey P., Baldwin I. T., Pandey S. P. Argonaute4 modulates resistance to *Fusarium brachygibbosum* infection by regulating jasmonic acid signaling // Plant Physiology. 2020. Vol. 184. P. 1128–1152. DOI: 10.1104/pp.20.00171.
35. Cai Q., Qiao L., Wang M., He B., Lin F.-M., Palmquist J., Huang S.-D., Jin H. Plants send small RNAs in extracellular vesicles to fungal pathogen to silence virulence genes // Science. 2018. Vol. 360(6393). P. 1126–1129. DOI: 10.1126/science.aar4142.
36. Moura M. O., Fausto A. K. S., Fanelli A., Guedes F. A. de F., Silva T. da F., Romanel E., Vaslin M. F. S. Genome-wide identification of the Dicer-like family in cotton and analysis of the DCL expression modulation in response to biotic stress in two contrasting commercial cultivars // BMC Plant Biology. 2019. Vol. 19. Art. No. 503. DOI: 10.1186/s12870-019-2112-4.
37. Sun D., Nandety R. S., Zhang Y., Reid M. S., Niu L., Jiang C.-Z. A petunia ethylene-responsive element binding factor, *PhERF2*, plays an important role in antiviral RNA silencing // Journal of Experimental Botany. 2016. Vol. 67. No. 11. P. 3353–3365. DOI: 10.1093/jxb/erw155.
38. Westwood J. H., Groen S. C., Du Z., Murphy A. M., Anggoro D. T., Tungadi T., Luang-In V., Lewsey M. G., Rossiter J. T., Powell G., Smith A. G., Carr J. P. A trio of viral proteins tunes aphid–plant interactions in *Arabidopsis thaliana* // PLoS ONE. 2013. Vol. 8(12). Art. No. e83066. DOI: 10.1371/journal.pone.0083066.
39. Mason G. A., Lemus T., Queitsch C. The mechanistic underpinnings of an *ago1*-mediated, environmentally dependent, and stochastic phenotype // Plant Physiology. 2016. Vol. 170. P. 2420–2431. DOI: 10.1104/pp.15.01928.
40. Annacondia M. L., Markovic D., Reig-Valiente J. L., Scaltsoyiannes V., Pieterse C. M. J., Ninkovic V., Slotkin R. K., Martinez G. Aphid feeding induces the relaxation of epigenetic control and the associated regulation of the defense response in *Arabidopsis* // New Phytologist. 2021. Vol. 230. P. 1185–1200. DOI: 10.1111/nph.17226.
41. Jiang Y., Zhang S., Chen K., Xia X., Tao B., Kong W. Impacts of DNA methylases and demethylases on the methylation and expression of *Arabidopsis* ethylene signal pathway genes // Functional & Integrative Genomics. 2023. Vol. 23. Art. No. 143. DOI: 10.1007/s10142-023-01069-1.

UDC 632/633/635-2

Rumyantsev S. D., Alekseev V. Yu., Shein M. Yu., Veselova S. V., Burkhanova G. F., Maksimov I. V.

THE ROLE OF *BACILLUS SPP.* IN THE INDUCTION OF HORMONAL SIGNALING PATHWAYS AND MECHANISM OF RNA INTERFERENCE DURING FORMATION DEFENSIVE RESPONSE OF WHEAT PLANTS AGAINST *RHOPALOSIPHUM PADI* (L.)

Summary. To date, an urgent task is to search for new promising endophytic plant growth–promoting bacteria (PGPB) and to study the mechanisms of their action in the development of immunity against pests associated with priming and activation of the RNA interference (RNAi) system. In this regard, the aim of our work was to study the effect of several strains and isolates of endophytic bacteria of the genus *Bacillus* on the triggering of

induced systemic resistance (ISR) and activation of the components of the RNAi system in wheat plants colonized by the bird cherry-oat aphid (Rhopalosiphum padi L.). The research was carried out in the laboratory of the Institute of Biochemistry and Genetics – subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences between August 2022 and April 2023. In this work, we studied four strains of endophytic bacteria Bacillus subtilis 26D, B. subtilis 11BM, B. thuringiensis B-6066, B. thuringiensis B-5351 and two isolates Bacillus sp. Tas-1 and Tas-8.2 obtained from the internal tissues of wheat plants. All studied strains and isolates of Bacillus spp. indirectly, through plants, increased the mortality of R. padi by 17–48 % and enhanced plant tolerance against aphids raising leaf growth by 19–26 % compared to untreated aphid-infested plants. Comparative assessment of the pattern of the transcriptional activity of genes encoding defensive proteins – markers of salicylate, ethylene and jasmonate signaling pathways (PR-1, PR-2, PR-3, PR-6, PR-9) and genes of the RNA interference system AGO1, AGO2, AGO4, DCL2 and DCL4 was carried out by real-time polymerase chain reaction (PCR). It was shown that the bacteria activated ISR by regulating various hormonal signaling pathways, but we should note that ethylene signaling pathway was common to all of them. To a greater extent, the bacteria influenced the expression of the AGO4 and DCL2 genes, increasing it by 30 and 12–14 times, respectively, compared with the control figures. It follows from the results that the ethylene signaling pathway, as well as AGO4 and DCL2 enzymes play an important role in the induction of wheat resistance against the bird cherry-oat aphid mediated by bacterial strains B. subtilis 26D, B. thuringiensis B-6066, B. thuringiensis B-5351 and Bacillus sp. Tas8.2 isolate.

Keywords: *Bacillus spp., Rhopalosiphum padi L., hormonal signaling pathways, plant protection, RNA interference, induced systemic resistance, endophytes, ethylene.*

Румянцев Сергей Дмитриевич, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории геномики растений Института биохимии и генетики – обособленного структурного подразделения ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 71; e-mail: Rumyantsev-Serg@mail.ru.

Алексеев Валентин Юрьевич, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной фармакологии и иммунологии Института биохимии и генетики – обособленного структурного подразделения ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 71; e-mail: valentin-1994@yandex.ru.

Шейн Михаил Юрьевич, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной фармакологии и иммунологии Института биохимии и генетики – обособленного структурного подразделения ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 71; e-mail: mikeshenoda@yandex.ru.

Веселова Светлана Викторовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биохимии иммунитета растений Института биохимии и генетики – обособленного структурного подразделения ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 71; e-mail: veselova75@rambler.ru.

Бурханова Гузель Фанилевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биохимии иммунитета растений Института биохимии и генетики – обособленного структурного подразделения ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 71; e-mail: guzel_mur@mail.ru.

Максимов Игорь Владимирович, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией биохимии иммунитета растений Института биохимии и генетики – обособленного структурного подразделения ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 71; e-mail: igor.mak2011@yandex.ru.

Rumyantsev Sergey Dmitrievich, Cand. Sc. (Biol.), researcher at the Laboratory of plant genomics of the Institute of Biochemistry and Genetics – subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 71, Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: Rumyantsev-Serg@mail.ru.

Alekseev Valentin Yurievich, junior researcher at the Laboratory of molecular pharmacology and immunology of the Institute of Biochemistry and Genetics – subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 71, Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: valentin-1994@yandex.ru.

Shein Mikhail Yurievich, junior researcher at the Laboratory of molecular pharmacology and immunology of the Institute of Biochemistry and Genetics – subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 71, Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: mikeshenoda@yandex.ru.

Veselova Svetlana Viktorovna, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher at the Laboratory of biochemistry of plant immunity of the Institute of Biochemistry and Genetics – subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 71, Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: veselova75@rambler.ru.

Burkhanova Guzel Fanilevna, Cand. Sc. (Biol.), researcher at the Laboratory of biochemistry of plant immunity of the Institute of Biochemistry and Genetics – subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 71, Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: guzel_mur@mail.ru.

Maksimov Igor Vladimirovich, Dr. Sc. (Biol.), professor, chief researcher at the Laboratory of biochemistry of plant immunity of the Institute of Biochemistry and Genetics – subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 71, Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: igor.mak2011@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 19.06.2023.

Дата принятия к печати – 19.07.2023.

DOI 10.5281/zenodo.10141799

EDN RHAHJL

УДК 631.31

Соболевский И. В.¹, Куклин В. А.^{1,2}, Исмаилов Я. Н.¹.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
КОМБИНИРОВАННОГО СТЕРНЕВОГО АГРЕГАТА С
МОДЕРНИЗИРОВАННЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ ВЫРАВНИВАТЕЛЯ**

¹ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»;

²ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского»

Реферат. Анализ современного развития рабочих органов комбинированных стерневых агрегатов для поверхностной обработки почвы показывает, что наилучшими элементами конструкции рабочих органов финишной системы являются упругие выравнивающие элементы – пружинные бороны, упругие полосовидные загортачи, а также уплотняющие элементы – ротационные планчатые либо трубчатые катки. Поэтому для повышения качества финишной обработки почвы после прохода плоскорезущих рабочих органов стерневого комбинированного агрегата необходимо разработать и испытать новые рабочие органы выравнивателя, обеспечивающего выровненную поверхность поля и мелкокомковатую структуру почвенных агрегатов в соответствии с агропотребованиями. Цель исследований – определение качественных и энергетических показателей работы финишной системы с модернизированными рабочими органами выравнивателя экспериментального комбинированного стерневого агрегата КСА-3,8М «Сварог» для поверхностной обработки почвы, а также сравнение с серийным культиватором комбинированным КПЭ-3,8В в почвенно-климатических условиях Крымского региона. Исследования проведены на полях отделения полевых культур ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» в 2023 г. При поверхностной обработке почвы после уборки ярового ячменя по стерневому фону с диапазоном изменения варьируемых факторов по глубине плоскорезущих лап культиватора (которая изменялась от 5 до 15 см) и рабочих органов выравнивателя (от 4 до 10 см), при значениях влажности – 12,7–13,2 %, твердости – 230,89–505,2 Н/см², деформационного показателя почвы ν – $1,08 \times 10^{-7}$ – $1,27 \times 10^{-7}$ м²/Н получены зависимости эмпирических уравнений регрессии тягового сопротивления от глубины обработки и скорости экспериментального комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог», а также его серийного аналога КПЭ-3,8В. В среднем тяговое сопротивление экспериментального комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог» на 16,15 % меньше, чем у серийного комбинированного агрегата КПЭ-3,8В. КСА-3,8М «Сварог» обеспечивает повышение степени крошения почвы на 5,6–6,2 % и снижение глыбистости в 1,25–1,36 раза.

Ключевые слова: стерневая обработка почвы, комбинированный агрегат, финишная система, тяговое сопротивление, степень крошения, глыбистость.

Для цитирования: Соболевский И. В., Куклин В. А., Исмаилов Я. Н. Исследование процесса работы экспериментального комбинированного стерневого агрегата с модернизированными рабочими органами выравнивателя // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3 (35). С. 215–226. EDN: RHAHJL. DOI: 10.5281/zenodo.10141799.

For citation: Sobolevsky I. V., Kuklin V. A., Ismailov Y.N. Research of the operation process of an experimental combined stubble unit with modernized working bodies of the leveler // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3(35). P. 215–226. EDN: RHAHJL. DOI: 10.5281/zenodo.10141799.

Введение

При современном уровне развития сельскохозяйственного машиностроения для поверхностной и предпосевной обработки почвы важную роль играют системы финишной обработки поверхности прокультивированного пласта почвы. Финишная система является наиболее важной при формировании выровненного фона поверхности поля, подготовленного под посев.

Как показывают исследования процесса выравнивания поля после посева на примере почвообрабатывающей посевной машины «Обь-43Т», у аграриев возникают затруднения, связанные с невыровненной обработкой поверхности поля после посева. Данная проблема заключается в формировании незасыпанных следов заднего ряда стрелчатых лап и высоких гребней, образованных на стыках. В результате на требуемую глубину заделываются по неровной поверхности от 29 до 35 % семян зерновых культур [1].

В Республике Крым (регион рискованного земледелия) наибольшее распространение приобретают ресурсосберегающие почвообрабатывающие технологии без оборота пласта. Посев осуществляется после предпосевной обработки стерневого фона. Для таких технологий предпочтительны комбинированные стерневые агрегаты [2–4]. При этом в процессе стерневой обработки поверхности поля перед посевом должен создаваться хорошо выровненный защитный слой, содержащий почвенные фракции размером до 25 мм не менее 85 %, с гребнистостью поверхности не более 4,0 см, которая препятствует потере влаги путем её интенсивного испарения. Формирование такой структуры обработанного почвенного пласта должно обеспечиваться соответствующей почвообрабатывающей техникой, которая себя хорошо зарекомендовала при стерневой обработке почвы.

Анализ современного развития рабочих органов комбинированных стерневых агрегатов для поверхностной обработки почвы показывает, что наилучшими элементами конструкции рабочих органов финишной системы являются упругие выравнивающие элементы – пружинные бороны, упругие полосовидные загортачи, а также уплотняющие элементы – ротационные планчатые либо трубчатые катки [5–10].

Как показывает анализ конструкций, высокое качество выравнивания поверхности определяется оптимальной формой рабочих органов. Дополнительно обоснованная форма рабочих органов выравнивателей должна обеспечивать снижение тягового сопротивления комбинированного стерневого агрегата. Существующие агрегаты не в полной мере обеспечивают соответствие агротребованиям по формированию оптимальных параметров фракционного состава почвы и её гребнистости. Поэтому для повышения качества финишной обработки почвы после прохода плоскорезущих рабочих органов стерневого комбинированного агрегата необходимо разработать и испытать новые рабочие органы выравнивателя, обеспечивающего выровненную поверхность поля и мелкокомковатую структуру почвенных агрегатов в соответствии с агротребованиями [11].

Цель исследований – определение качественных и энергетических показателей работы финишной системы с модернизированными рабочими органами выравнивателя экспериментального комбинированного стерневого агрегата КСА-3,8М «Сварог» для поверхностной обработки почвы и их сравнение с серийным культиватором комбинированным КПЭ-3,8В в почвенно-климатических условиях Крымского региона.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены на полях отделения полевых культур ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» в 2023 г.

Объект исследования – технологический процесс работы финишной системы с модернизированными рабочими органами выравнивателя экспериментального

комбинированного стерневого агрегата КСА-3,8М «Сварог» для поверхностной обработки почвы.

Предмет исследования – качественные и энергетические показатели поверхностной обработки почвы финишной системы с модернизированными рабочими органами выравнивателя экспериментального комбинированного стерневого агрегата КСА-3,8М «Сварог».

Полевые исследования экспериментального агрегата выполняли в соответствии с ГОСТ 33687-2015 «Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний».

Проводили испытания на опытных полях отделения полевых культур (с. Клепонино, Красногвардейского района Республики Крым) на трех агрофонах: стерневой фон (предшественник озимый ячмень), паровое поле, обработка поля дискованием (предшественник озимый ячмень) общей площадью 150 га на южном мицелярно-карбонатном черноземе.

Экспериментальный комбинированный стерневой агрегат КСА-3,8М «Сварог» предназначен для обработки стерни, которая остается после уборки урожая, а также для обработки почвы перед посевом и ухода за парами. Он выполняет следующие операции: срезание стерни, одновременное рыхление слоя почвы на глубину заделки семян, выравнивание поверхности поля, разрушение катками комков почвы до мелких фракций. Состоит из трех рядов, оснащенных разборными рабочими органами типа «долото-плоскорезный лемех» (1), двумя транспортными колесами (2) и двумя опорными колесами (3) для регулировки глубины обработки почвы, финишной системы (4), состоящей из секции выравнивателей (5) в форме упругих полосовидных загортачей (6), а также задней батареи планчатых катков (7) (рисунок 1) (патент RU № 218 321 U1, патент RU 218 025 U1) [12, 13].

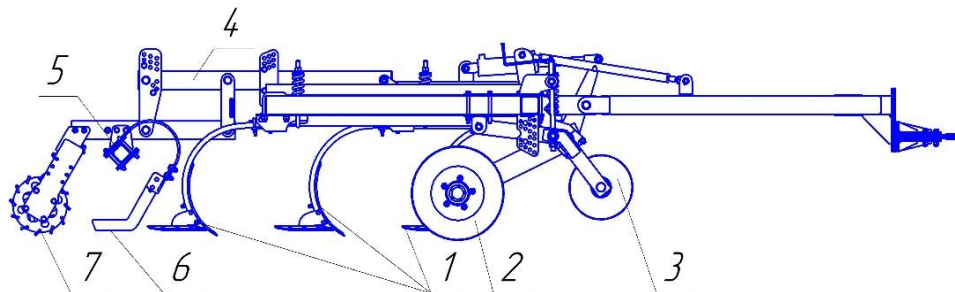


Рисунок 1 – Общий вид экспериментального комбинированного стерневого агрегата КСА-3,8М «Сварог»

Перед началом каждого эксперимента устанавливали основные физико-механические свойства почвы. Относительная влажность почвы определялась влагомером почвы Soil moisture meter модель MC-7828SOIL на глубину обработки в диапазоне 5–15 см (рисунок 2, а).

Модернизированный твердомер Ю. Ю. Ревякина применяли для определения твердости и деформационного показателя (рисунок 2, б).

Данные по тяговой характеристике испытуемых агрегатов получали с помощью динамометра 9016 ДПУ-50-1-УХЛ2 ГОСТ 13837-68 (свидетельство о поверке № С-АЦМ/07-08-2023/267937875). Регистрировали видеоданные съёмной камерой S-60 Ultra HD 4K Aceline, которая заряжалась портативным зарядным устройством Base On User 22.5W №PPADM20S (рисунок 3, а). При движении испытуемого агрегата по стометровой делянке значения тягового сопротивления на шкале динамометра 9016 ДПУ-50-1-УХЛ2 фиксировали съёмной камерой S-60 Ultra HD 4K Aceline с интервалом

в 1 сек (рисунок 3, б).

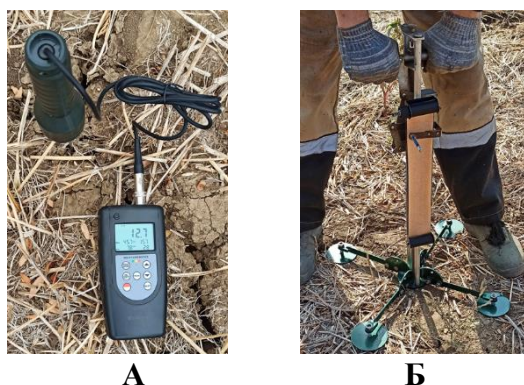


Рисунок 2 – Измерительное оборудование для исследования физико-механических свойств почвы

Примечание. А – почвенный влагомер Soil moisture meter модель MC-7828SOIL; Б – модернизированный твердомер Ю.Ю. Ревякина.



Рисунок 3 – Устройство для регистрации экспериментальных значений тягового сопротивления агрегата

Примечание. А – общий вид камеры S-60 Ultra HD 4K Aceline – 1, динамометра 9016 ДПУ-50-1-УХЛ2 – 2, портативного зарядного устройства Base On User 22.5W №PPADM20S – 3; Б – динамометр в полевых условиях.

В основе планирования испытаний заложен двухфакторный эксперимент типа $N = 2^2$, основной целью которого было определение значений коэффициентов уравнения регрессии. Основными факторами в полевом эксперименте являлись скорость движения агрегата и глубина обработки. Глубина хода плоскорезающих лап культиватора изменялась от 5 до 15 см, рабочих органов выравнивателя – от 4 до 10 см, при этом рабочая скорость регулировалась в диапазоне от 8 до 12 км/ч. Пред каждым проходом агрегата определялась делянка с длиной гона не менее 100 м. Время движения агрегата в составе с трактором МТЗ-923.3 контролировали электронным секундомером. В качестве аналога для сравнения использовали серийный культиватор комбинированный КПЭ-3,8В.

В соответствии с ГОСТ 33687–2015 определили показатели качества выполнения технологического процесса. Гребнистость обработанной поверхности почвы установили, измеряя высоту гребней. Гребни измеряли масштабированной рейкой и линейкой с четырехкратной повторностью. Все измерения выполняли от дна сформированной борозды между гребнями и до нижней грани масштабированной рейки (рисунок 4, а). Общая погрешность измерений не превышала ± 5 мм, при этом

общее количество измерений было не менее 40.

В соответствии с ГОСТ 33677–2015 «Машины и орудия для междурядной и рядной обработки почвы. Методы испытаний» проведён анализ степени крошения почвы по пробам, которые отбирали в четырех точках каждой делянки (две – по ходу движения испытываемого агрегата и две – в обратном движении агрегата) (рисунок 4, б).



Рисунок 4 – Процесс определения оценки показателей качества выполнения технологического процесса:

Примечание. А – определение гребнистости почвы; Б – определение степени крошения и глыбистости.

Глубину обработки почвы исследуемыми агрегатами определяли методом поперечного и продольного профилирования. При определении глубины поперечным профилированием на каждой делянке перед проходом агрегата были установлены по две опорные рейки. На рейки горизонтально накладывали масштабированные рейки, которые были расположены перпендикулярно к направлению движения агрегата (рисунок 5).



Рисунок 5 – Определение глубины обработки почвы методом поперечного и продольного профилирования

Масштабированные рейки должны быть горизонтально расположены. Измерение поверхности поля проводили до прохода агрегата, а затем после удаления взрыхленного слоя почвы определяли профилирование поверхности дна борозды. Общи интервал измерений был не менее 10 см с погрешностью не более ± 1 см.

Результаты и их обсуждение

Полевые исследования проведены в осенний период 2023 г. после уборки ярового ячменя по стерневому фону. Пред проведением экспериментов были определены почвенные показатели условий испытаний, такие, как влажность W (12,7–13,2 %); твердость p (230,89–505,2 Н/см²); деформационный показатель ν – $1,08 \times 10^{-7}$ – $1,27 \times 10^{-7}$ м²/Н.

В ходе выполнения полевых испытаний экспериментального комбинированного стерневого агрегата КСА-3,8М «Сварог» (рисунок 6) определены эмпирические значения тягового сопротивления P агрегата.



Рисунок 6 – Общий вид экспериментального комбинированного стерневого агрегата КСА-3,8М «Сварог»

Примечание. а – перед стерневой обработкой; б – в процессе стерневой обработки.

Полученные значения как для КСА-3,8М «Сварог», так и для КПЭ-3,8В [14–16] отображены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования тягового сопротивления экспериментального комбинированного стерневого агрегата КСА-3,8М «Сварог» и серийного культиватора комбинированного КПЭ-3,8В

Показатель скорости V , км/ч	КСА-3,8М «Сварог»		КПЭ-3,8В		Снижение тягового сопротивления, %
	Тяговое сопротивление культиватора $P, Н$	Тяговое сопротивление выравнивающего рабочего органа $P, Н$	Тяговое сопротивление культиватора $P, Н$	Тяговое сопротивление выравнивающего рабочего органа $P, Н$	
глубина экспериментального прохода для плоскорезающих лап культиватора $h_{л} - 5$ см, для выравнивающих рабочих органов $h_{в} - 4$ см					
8	10324,3	363,16	12531,2	392,22	17,61
10	10600,4	372,96	12858,9	402,81	17,56
12	11533,7	405,8	13981,0	438,3	17,48
глубина экспериментального прохода для плоскорезающих лап культиватора $h_{л} - 10$ см, для выравнивающих рабочих органов $h_{в} - 7$ см					
8	12138,25	432,73	14602,46	465,18	16,88
10	13207,7	470,81	15871,1	506,1	16,78
12	14071,9	502,8	16868,3	540,5	16,57
глубина экспериментального прохода для плоскорезающих лап культиватора $h_{л} - 15$ см, для выравнивающих рабочих органов $h_{в} - 10$ см					
8	17743,7	497,8	20860,8	523,7	14,94
10	18355,3	515,2	21558,4	542,0	14,85
12	20204,2	567,2	23686,3	596,7	14,7

Результаты обработки данных таблицы 1 с помощью программы Microsoft Excel представлены на графиках зависимостей тягового сопротивления от глубины рыхления и скорости движения комбинированных агрегатов (рисунки 7, 8).

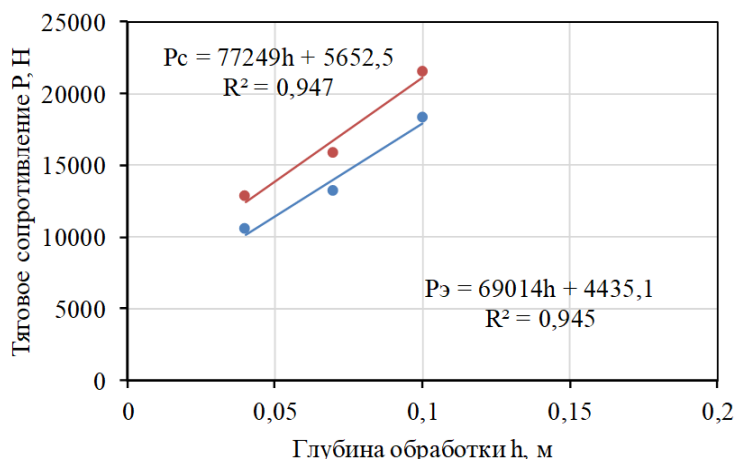


Рисунок 7 – График зависимости тягового сопротивления P от глубины обработки h при скорости движения $V = 10$ км/ч

Примечание: Здесь и далее: $P_э$ – экспериментальный комбинированный агрегат КСА-3,8М «Сварог»; P_c – серийный комбинированный агрегат КПЭ-3,8В

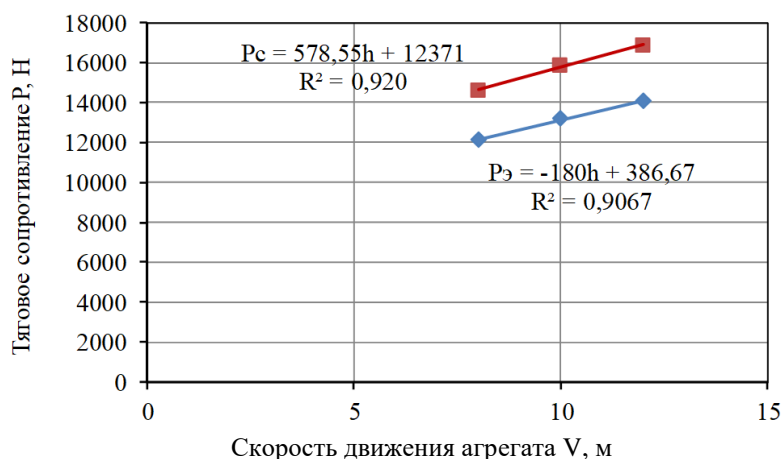


Рисунок 8 – График зависимости тягового сопротивления P от скорости движения V при глубине обработки выравнивающих рабочих органов $h = 7$ см

Как показал анализ данных, представленных в таблице 1 и на графиках эмпирических зависимостей на рисунках 7 и 8, исследуемый в процессе полевых экспериментов комбинированный агрегат КСА-3,8М «Сварог» создает меньшее тяговое сопротивление при комбинированной стерневой обработке почвенного пласта в среднем на 14,7–17,61 %.

Уравнения регрессии в кодированных переменных, которые были определены по результатам полевых экспериментов, имеют вид:

– для экспериментального комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог»:

$$Y_э = 14964,42 + 4041,633X_1 + 929,65X_2 + 326,0667X_1X_2; \quad (1)$$

– для серийного комбинированного агрегата КПЭ-3,8В:

$$Y_c = 17726,78 + 4531,508X_1 + 1021,758X_2 + 361,5583X_1X_2. \quad (2)$$

Для критерия Стьюдента оценка значимости коэффициентов регрессии, полученных эмпирическим путем, показала, что для уравнения (1) являются

значимыми коэффициенты, удовлетворяющие условию $b_i \geq 342,6225$, а для уравнения регрессии (2) соответственно $b_i \geq 390,5195$.

Для критерия Кохрена проверка рассчитанных математических моделей (1) и (2), с условием, что расчетное значение G_p должно быть ниже его табличного $G_T=0,76$, показало воспроизводимость полученных результатов, так как в расчетах для уравнения (1) G_p составило 0,35, а для уравнения (2) G_p соответственно 0,39.

По критерию Фишера проведенная проверка математических моделей (1) и (2) подтвердила их адекватность, так как расчётные значения F_p , которые составили, соответственно, 6,99 и 6,62, были меньше табличного значения $F_T = 7,71$.

При оценке значимости коэффициентов уравнения регрессии в натуральных значениях переменных представлены в следующем виде:

– для экспериментального комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог»:

$$P_Э = 2232,91 + 808,33h + 464,83v; \quad (3)$$

– для серийного комбинированного агрегата КПЭ-3,8В:

$$P_С = 3554,97 + 906,30h + 510,88v. \quad (4)$$

В процессе работы исследуемых агрегатов по стерневому фону с учетом данных табличных значений графических зависимостей, а также уравнений регрессии определено, что комбинированный агрегат КСА-3,8М «Сварог» обеспечивает более плавное возрастание тягового сопротивления с вариацией от 10324,3 до 20204,2 Н, при этом комбинированный агрегат КПЭ-3,8В показывает значительное его увеличение в диапазоне от 12531,2 до 23686,3 Н. Такой процесс объясняется схемой расположения рабочих элементов финишной системы агрегатов. У КСА-3,8М «Сварог» расстояние между упругими полосовидными загортачами (6) и задней батареей планчатых катков (7) обеспечивает отсутствие набрасывания обработанной почвы друг на друга, что оптимизирует процесс комбинированной обработки взрыхленного почвенного пласта после плоскорезной обработки. При этом сами полосовидные загортачи (6) расположены не сплошным рядом вдоль несущей балки, а только в тех зонах, где необходимо срезать гребни и засыпать борозды, предварительно частично разрушив сформированные глыбы после прохода плоскорезующих рабочих органов [17]. Планчатый каток уже формирует более выровненный мелкокомковатый пласт почвы под посев. Наибольшую разницу в тяговом сопротивлении (17,61 %) испытываемые агрегаты имеют при скорости движения 8 км/ч и глубине обработки почвы 5 см. В среднем тяговое сопротивление экспериментального комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог» на 16,15 % меньше, чем у серийного комбинированного агрегата КПЭ-3,8В.

Для оценки качества работы исследуемых агрегатов определены зависимости степени крошения почвы и ее глыбистости. На рисунках 9 и 10 показаны зависимости гистограмм качества обработки почвы финишными системами комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог» и комбинированного агрегата КПЭ-3,8В. Установлено, что комбинированный агрегат КСА-3,8М «Сварог» обеспечивает более высокое качество обработки стерневого фона почвы в сравнении с его аналогом КПЭ-3,8В благодаря увеличению степени крошения (рисунок 9).

Анализ гистограммы эмпирической зависимости глыбистости почвы (рисунок 10) показал её значительное уменьшение в 1,5–1,6 раза у комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог» в сравнении с КПЭ-3,8В при одинаковых условиях полевых испытаний на стерневом агрофоне.

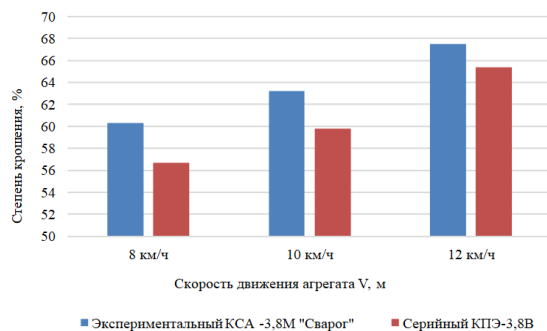


Рисунок 9 – Гистограмма зависимости степени крошения почвы после прохождения комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог» и комбинированного агрегата КПЭ-3,8В от скорости их движения V

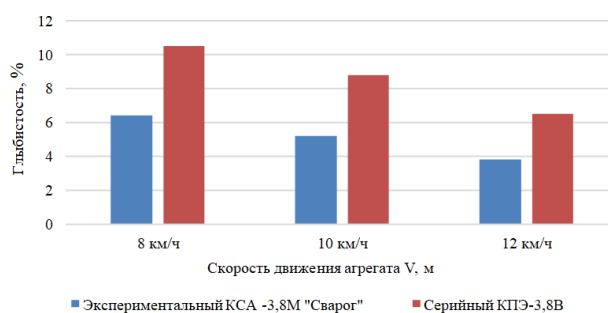


Рисунок 10 – Гистограмма зависимости глыбистости почвы после прохождения комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог» и комбинированного агрегата КПЭ-3,8В от скорости их движения V

При сравнении качественных показателей обработки почвы серийным комбинированным агрегатом КПЭ-3,8В и экспериментальным комбинированным агрегатом КСА-3,8М «Сварог» установлено, что КСА-3,8М «Сварог» обеспечивает повышение степени крошения почвы на 5,6–6,2 % и снижение глыбистости в 1,25–1,36 раза.

Выводы

При поверхностной обработке почвы после уборки ярового ячменя по стерневому фону с диапазоном изменения варьируемых факторов по глубине плоскорезущих лап культиватора (которая изменялась от 5 до 15 см) и рабочих органов выравнивателя (от 4 до 10 см), при значениях влажности – 12,7–13,2 %, твердости – 230,89–505,2 Н/см², деформационного показателя почвы $\nu = 1,08 \times 10^{-7} - 1,27 \times 10^{-7}$ м²/Н получены зависимости эмпирических уравнений регрессии тягового сопротивления от глубины обработки и скорости экспериментального комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог», а также его серийного аналога КПЭ-3,8В. С увеличением глубины и скорости обработки почвы тяговое сопротивление экспериментального комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог» возрастает менее интенсивно в сравнении с серийным комбинированным агрегатом КПЭ-3,8В, что объясняется схемой расположения рабочих элементов финишной системы агрегатов. У КСА-3,8М «Сварог» расстояние между упругими полосовидными загортачами и задней батареей планчатых катков обеспечивает отсутствие набрасывания обработанной почвы друг на друга, что оптимизирует процесс комбинированной обработки взрыхленного почвенного пласта после плоскорезной обработки. Планчатый каток уже формирует более выровненный мелкокомковатый

пласт почвы под посев. Наибольшую разницу в тяговом сопротивлении (17,61%) испытываемые агрегаты имеют при скорости движения 8 км/ч и глубине обработки почвы 5 см. В среднем тяговое сопротивление экспериментального комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог» на 16,15 % меньше, чем у серийного комбинированного агрегата КПЭ-3,8В.

При сравнении качественных показателей обработки почвы серийным комбинированным агрегатом КПЭ-3,8В и экспериментальным комбинированным агрегатом КСА-3,8М «Сварог» видно, что КСА-3,8М «Сварог» обеспечивает повышение степени крошения почвы на 5,6–6,2 % и снижение глыбистости в 1,25–1,36 раза.

Литература

1. Яковлев Н. С. Исследование процесса выравнивания поля после посева почвообрабатывающими посевными машинами «Обь-43Т» // Вестник КрасГАУ. 2011. № 7. С. 151–157.
2. Guo Z., Zhou Z., Ren L. 2D finite element analysis for the cutting performance of bionic curved cutting tools // Chinese J. Mech. Eng. 2003. No. 9. P. 106–109. DOI:10.3901/JME.2003.09.106.
3. Соболевский И. В., Куклин В. А. Исследование процесса работы экспериментального стернового культиватора для поверхностной обработки почвы // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 4 (32). С. 213–221.
4. Naresh R. K., Rathore R. S., Yadav R. B., Singh S. P., Misra A. K., Kumar V., Kumar N., Gupta R. K. Effect of precision land levelling and permanent raised bed planting on soil properties, input use efficiency, productivity and profitability under maize (*Zea mays*) – wheat (*Triticum aestivum*) cropping system // African Journal of Agricultural Research. 2014. Vol. 9 (36). P. 2781–2789. DOI:10.5897/AJAR2013.7290.
5. Francisco P. F. Soil and water conservation technology adoption and labour allocation: evidence from Ethiopia // World Development. 2020. Vol. 127. Art. No. 104754. DOI: 10.1016/j.worlddev.2019.104754.
6. Hofbauer M., Bloch R., Bachinger J., Gerke H.H. Effects of shallow non-inversion tillage on sandy loam soil properties and winter rye yield in organic farming // Soil and Tillage Research. 2022. Vol. 222. Art. No. 105435. DOI: 10.1016/j.still.2022.105435.
7. Bravo E.L., Tijssens E., Suárez M.H., Gonzalez Cueto O., Ramon H. Prediction model for non-inversion soil tillage implemented on discrete element method // Computers and Electronics in Agriculture. 2014. Vol. 106. P. 120–127. DOI:10.1016/j.compag.2014.05.007.
8. Hoseinian S.H., Hemmat A., Esehaghbeygi A., Shahgoli G., Baghbanan A. Development of a dual sideway-share subsurface tillage implement: Part 1. Modeling tool interaction with soil using DEM // Soil & Tillage Research. 2022. Vol. 215 Art. No. 105201. DOI: 10.1016/j.still.2021.105201.
9. Aikins K. A., Antille D. L., Ucgul M., Barr J. B., Jensen T. A., Desbiolles J. M. A. Analysis of effects of operating speed and depth on bentleg opener performance in cohesive soil using the discrete element method // Comput. Electron. Agric. 2021. 187. Art. No. 106236. DOI:10.1016/j.compag.2021.106236.
10. Wang X., Zhou H., Wang S., Zhou H., Ji J. Methods for reducing the tillage force of subsoiling tools: a review // Soil & Tillage Research. 2023. Vol. 229. Art. No. 105676. DOI:10.1016/j.still.2023.105676.
11. Сравнительный анализ технического уровня культиваторов по результатам испытаний на машиноиспытательных станциях. Солнечногорск: ФГБУ «ГИЦ», 2014. 144 с.
12. Патент № 218321 «Комбинированный культиватор» // Авторы: Соболевский И. В., Калафатов И. И., Куклин В. А. Патентообладатель: ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». Бюл. № 15. 8 с.
13. Патент № 218025 «Рабочий орган культиватора для сплошной обработки почвы» // Авторы: Соболевский И. В., Калафатов И. И., Куклин В. А., Зубоченко Д. В., Соболевский В. И. Патентообладатель: ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». Бюл. № 13. 9 с.
14. Протокол испытаний № 12-14-2005 (1020132) культиватора комбинированного КПЭ-3,8В. С. Сосновское: ФГУ «Сибирская государственная зональная машиноиспытательная станция», 2005. 5 с.
15. Припоров Е. В., Припоров И. Е., Самурганов Г. Е. Сравнительный анализ культиваторов для предпосевной обработки почвы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 1. С. 77–81.
16. Рыжков А. В. Мачкарин А. В. Стерновой культиватор с подпружиненной стойкой // Материалы XXVI Международной научно-производственной конференции «Вызовы и инновационные решения в аграрной науке». Белгород: ФГБОУ ВО «Белгородский ГАУ», 2022. С. 241–242.
17. Guoyang L., Junfang X., Kan Z., Jian C., Kaixuan W., Rong Z., Hongchang W., Zhengyuan L. Effects of vibration parameters on the interfacial adhesion system between soil and metal surface // Soil & Tillage Research. 2022. Vol. 218. Art. No. 105294. DOI:10.1016/j.still.2021.105294.

References

1. Yakovlev N. S. Research of the process of field leveling after seeding by the cultivating sowing machines “Ob-4ZT” // Bulletin of KSAU. 2011. No. 7. P. 151–157.
2. Guo Z., Zhou Z., Ren L. 2D finite element analysis for the cutting performance of bionic curved cutting tools // Chinese J. Mech. Eng. 2003. No. 9. P. 106–109. DOI:10.3901/JME.2003.09.106.
3. Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Research of the operation process of the experimental stubble cultivator for surface tillage // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 4 (32). P. 213–221.
4. Naresh R. K., Rathore R. S., Yadav R. B., Singh S. P., Misra A. K., Kumar V., Kumar N., Gupta R. K. Effect of precision land levelling and permanent raised bed planting on soil properties, input use efficiency, productivity and profitability under maize (*Zea mays*) – wheat (*Triticum aestivum*) cropping system // African Journal of Agricultural Research. 2014. Vol. 9 (36). P. 2781–2789. DOI: 10.5897/AJAR2013.7290.
5. Fontes F. P. Soil and water conservation technology adoption and labor allocation: evidence from Ethiopia // World Development. 2020. Vol. 127. Art. No. 104754. DOI: 10.1016/j.worlddev.2019.104754.
6. Hofbauer M., Bloch R., Bachinger J., Gerke H.H. Effects of shallow non-inversion tillage on sandy loam soil properties and winter rye yield in organic farming // Soil and Tillage Research. 2022. Vol. 222. Art. No. 105435. DOI: 10.1016/j.still.2022.105435.
7. Bravo E.L., Tijssens E., Suárez M.H., Gonzalez Cueto O., Ramon H. Prediction model for non-inversion soil tillage implemented on discrete element method // Computers and Electronics in Agriculture. 2014. Vol. 106. P. 120–127. DOI:10.1016/j.compag.2014.05.007.
8. Hoseinian S.H., Hemmat A., Esehaghbeygi A., Shahgoli G., Baghbanan A. Development of a dual sideway-share subsurface tillage implement: Part 1. Modeling tool interaction with soil using DEM // Soil & Tillage Research. 2022. Vol. 215 Art. No. 105201. DOI: 10.1016/j.still.2021.105201.
9. Aikins K. A., Antille D. L., Ucgul M., Barr J. B., Jensen T. A., Desbiolles J. M. A. Analysis of effects of operating speed and depth on bentleg opener performance in cohesive soil using the discrete element method // Comput. Electron. Agric. 2021. 187. Art. No. 106236. DOI:10.1016/j.compag.2021.106236.
10. Wang X., Zhou H., Wang S., Zhou H., Ji J. Methods for reducing the tillage force of subsoiling tools: a review // Soil & Tillage Research. 2023. Vol. 229. Art. No. 105676. DOI:10.1016/j.still.2023.105676.
11. Comparative analysis of the technical level of cultivators based on test results at machine testing stations. Solnechnogorsk: FSBI “State Testing Centre”, 2014. 144 p.
12. Patent No. 218321 “Combined cultivator” // Authors: Sobolevsky I. V., Kalafatov I. I., Kuklin V. A. Patent holder: FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”. Bull. No. 15. 8 p.
13. Patent No. 218025 “The working body of a cultivator for continuous tillage of the soil” // Authors: Sobolevsky I. V., Kalafatov I. I., Kuklin V. A., Zubochenko D. V., Sobolevsky V. I. Patent holder: FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”. Bull. No. 13. 9 p.
14. Test report No. 12-14-2005 (1020132) of the combined cultivator KPE-3.8V. Vill. Sosnovskoe: FSI “Siberian State Zonal Machine Testing Station”, 2005. 5 p.
15. Priporov E.V., Priporov I.E., Samurganov G.E. Comparative analysis of cultivators for preseeding soil treatment // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2020. No. 1. P. 77–81.
16. Ryzhkov A.V. Machkarin A.V. Stubble cultivator with a spring-loaded stand // Materials of the XXVI International Scientific and Production Conference “Challenges and innovative solutions in agricultural science”. Belgorod: Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin, 2022. P. 241–242.
17. Liu G., Xia J., Zheng K., Cheng J., Wang K., Zeng R., Wang H., Liu Z. Effects of vibration parameters on the interfacial adhesion system between soil and metal surface // Soil & Tillage Research. 2022. Vol. 218. Art. No. 105294. DOI:10.1016/j.still.2021.105294.

UDC 631.31

Sobolevsky I. V., Kuklin V. A., Ismailov Y.N.

RESEARCH OF THE OPERATION PROCESS OF AN EXPERIMENTAL COMBINED STUBBLE UNIT WITH MODERNIZED WORKING BODIES OF THE LEVELER

Summary. Analysis of the modern development of the working bodies of combined stubble units for surface tillage shows that the best design elements of the working bodies of the finishing system are elastic leveling elements – spring harrows, elastic strip-shaped harrows, as well as compacting elements – rotary slat or tubular rollers. In this regard, to increase quality of finishing soil cultivation after the flat-cutting workers of a combined stubble unit, it is necessary to develop and test new working elements of a leveler that ensures

a leveled field surface and a fine-clump structure of soil aggregates that meet all agricultural requirements. The purpose of the research was to determine the quality and energy performance indicators of the finishing system with modernized working bodies of the leveler of the experimental combined stubble unit KSA-3.8M “Svarog” for surface tillage in comparison with the serial combined cultivator KPE-3.8V under conditions of the Crimean region. The research was carried out in 2023 at the Field Crops Department – structural unit of the Research Institute of Agriculture of Crimea. Test conditions: soil moisture – 12.7-13.2 %; soil hardness – 230.89-505.2 N/cm²; deformation index ν – 1.08×10^{-7} - 1.27×10^{-7} m²/N. When surface tillage of spring barley stubble (variation in depth of the cultivator’s flat-cutting tines – from 5 to 15 cm, leveler’s working bodies – from 4 to 10 cm) was done, dependences in the form of empirical regression equations of traction resistance on the depth of tillage and speed of the experimental combined unit KSA-3.8M “Svarog” and its serial analogue KPE-3,8V were obtained. On average, the traction resistance of KSA-3.8M “Svarog” was 16.15 % less than that of the serial combined unit KPE-3.8V. In addition, KSA-3.8M “Svarog” ensured an increase in the degree of soil crumbling by 5.6–6.2% and a reduction in lumpiness by 1.25–1.36 times.

Keywords: *stubble tillage, combined unit, finishing system, traction resistance, degree of crumbling, lumpiness.*

Соболевский Иван Витальевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий отделом механизации производства и разработки новых образцов техники, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: sobolevskii-ivan@mail.ru.

Куклин Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технических систем в агробизнесе ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»; 295007, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, проспект Вернадского, 4; научный сотрудник отдела механизации производства и разработки новых образцов техники, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: kuklin-va@mail.ru.

Исмаилов Якуб Ниязиевич, младший научный сотрудник лаборатории основ сельскохозяйственной инженерии отдела механизации производства и разработки новых образцов техники, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: yakub.ismailov.95@mail.ru.

Sobolevsky Ivan Vitalievich, Cand. Sc. (Techn.), associate professor, head of the Department of mechanization of production and development of new types of equipment, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295043, Russia; e-mail: sobolevskii-ivan@mail.ru.

Kuklin Vladimir Alekseevich, Cand. Sc. (Techn.), associate professor of the Department of technical systems in agribusiness, V.I. Vernadsky Crimean Federal University; 4, Prospekt Vernadskogo, Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russia; researcher of the Department of mechanization of production and development of new types of equipment, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295043, Russia; e-mail: kuklin-va@mail.ru.

Ismailov Yakub Niyazievich, junior researcher at the Laboratory of fundamentals of agricultural engineering, Department of mechanization of production and development of new types of equipment, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295043, Russia; e-mail: yakub.ismailov.95@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 10.08.2023.

Дата принятия к печати – 21.09.2023.

DOI 10.5281/zenodo.10141865

EDN VMHEVA

УДК 633.15:631.5:631.871

Черкашина А. В., Приходько А. В.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ СРОКОВ ПОСЕВА КУКУРУЗЫ НА КОЛИЧЕСТВО ПОСЛЕУБОРОЧНЫХ ОСТАТКОВ ПРИ ЕЕ ВОЗДЕЛЫВАНИИ НА ЗЕРНО

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. Корне-поживные остатки полевых культур, в том числе кукурузы, являются одним из основных источников пополнения органического вещества почвы, что актуально для черноземов южных слабогумусированных, содержащих до 4 % гумуса. Цель исследований – оценить влияние сроков посева на количество послеуборочных остатков, органического вещества, поступающих в почву при возделывании кукурузы на зерно. Исследования проведены в 2016–2019 гг. в научном севообороте отделения полевых культур ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». Схема опыта: Фактор А – гибриды (Нур, Машук 220 МВ, Машук 355 МВ), фактор В – сроки посева (5, 15 и 25 апреля), фактор С – метеоусловия лет исследований (2016–2019 гг.). Общая площадь делянки 50 м², учетная – 25 м², повторность – четырехкратная. Математическая обработка данных трехфакторного опыта – по Т.М. Литтлу и Ф. Дж. Хилзу (1981). В богарных условиях степной зоны Крыма на количество послеуборочных остатков кукурузы (с корнями) при выращивании ее на зерно оказывали существенное влияние условия года (доля действия 78,3 %), гибрид (4,7 %), сроки посева (1 %), а также взаимодействие факторов. Наиболее благоприятным был 2019 г. – в почву поступило 10,62 т/га растительных остатков, содержащих 10,09 т/га органического вещества, в составе которого – 5,0 т/га органического углерода. В среднем по опыту кукуруза на зерно оставила после себя 6,36 т/га органики с варьированием от 1,92 т/га до 12,56 т/га. Это количество эквивалентно 6,9–45,2 т/га подстилочного навоза крупного рогатого скота. Максимальную продуктивность обеспечивал гибрид Машук 355 МВ – 7,55 т/га биомассы, что на 15,9–18,9 % превысило другие гибриды. Лучшим сроком посева было 15 апреля, при котором получено побочной продукции 7,08 т/га, что на 8,1–9,3 % выше, чем при посеве пятого и 25 апреля.

Ключевые слова: кукуруза (*Zea mays* L.), сроки посева, гибрид, послеуборочные остатки, органическое вещество, неорошаемые условия.

Для цитирования: Черкашина А. В., Приходько А. В. Результаты изучения влияния сроков посева кукурузы на количество послеуборочных остатков при ее возделывании на зерно // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3 (35). С. 227–237. EDN: VMHEVA. DOI: 10.5281/zenodo.10141865.

For citation: Cherkashyna A. V., Prikhodko A. V. Effect of planting dates on the amount of post-harvest residues of corn cultivated for grain // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3(35). P. 227–237. EDN: VMHEVA. DOI: 10.5281/zenodo.10141865.

Введение

Кукуруза – высокопродуктивная культура универсального использования, которую выращивают на зерно, силос, зеленую массу, используют в качестве промышленного сырья для производства биотоплива и биогаза. Из кукурузы производят более 3500 видов продукции [1, 2].

При возделывании кукурузы на зерно часть побочной продукции (стебли, листья, стержни, оберстки початков и др.) может быть отчуждена и использована для

переработки в гранулы (брикеты) в энергетических целях. По показателям плавкости золы кукурузная солома приближается к древесной биомассе, что создает лучшие условия для горения по сравнению с соломой зерновых колосовых культур [3]. Однако в Крыму кукуруза занимает небольшие площади; также не отработаны мероприятия по сбору, логистике, хранению и переработке данной агробиомассы [3].

Более целесообразным решением является оставление в поле и рациональное использование растительных остатков на удобрение [4], что особенно актуально в связи с недостаточным внесением органических удобрений в земледелии региона и отрицательным балансом гумуса, макро- и микроэлементов в почвах [5].

Корне-поживные остатки полевых культур являются одним из основных источников пополнения органического вещества почвы [5]. Они оказывают многостороннее прямое и косвенное воздействие на физические, химические и биологические свойства почвы, ее воздушный, температурный и пищевой режимы. Поступление растительных остатков в почву и их трансформация в гумусовые вещества и органоминеральные комплексы представляет собой путь секвестрации углерода и снижения концентрации углекислого газа в атмосфере [6].

По поглощению углекислого газа и выделению кислорода кукуруза занимает одно из первых мест среди всех культурных растений и является более эффективной, чем лес аналогичной площади [1]. Это объясняется тем, что фотосинтез происходит по более эффективному C-4 пути, при котором продуктивность фотосинтеза единицы листовой поверхности за единицу времени в два-три раза выше, чем у растений, у которых C-3 путь фотосинтеза [1].

В растительных остатках кукурузы отношение зерна к соломе (в пересчете на сухое вещество) зависит от гибрида, условий возделывания, методики учета растительных остатков [7, 8] и варьирует в широких пределах — от 1:1 до 1:1,5 [7, 9]. При урожайности сухой массы зерна 10 т/га и отношении сухого вещества зерна к соломе 1:1,2–1,4 в почву поступит около 12–14 т биомассы. При заделке растительных остатков, которые содержат около 42 % углерода, в почву поступит 5,04–5,88 т органического углерода. Если учесть, что коэффициент гумификации органического вещества оставляет 0,25 %, то в почву с биомассой кукурузы поступит 1,26–1,47 т/га новообразованного гумуса [7].

Качество растительных остатков зависит как от химического состава (растворимый углерод, общий азот, лигнин, полифенолы, отношения C/N, лигнин/N, полифенол/N и др.) и структуры клеток (особенно стенок) тканей, так и доступности почвенным микроорганизмам [5, 6]. Растительные остатки кукурузы имеют широкое отношение C:N – 40:1. Они богаты углеродом (42–47 % сухой массы [7, 9]), но бедны азотом (0,42 % [9] – 1,62 % [5]). Причем в листьях содержание азота выше, чем в стеблях [10]. В корнях содержание азота выше, чем в поживных остатках [5]. Растительные остатки кукурузы по доступности разложения имеют низкое качество. Для традиционной системы земледелия это является недостатком. В системе минимальных и особенно нулевых обработок, кукуруза является культурой, растительные остатки которой в полном объеме могут выполнить мульчирующую роль, обеспечить высокую эффективность технологии благодаря поступлению в почву от 4–6 до 10 т/га растительных остатков [11, 12]. Для активизации их разложения рекомендовано внесение минеральных азотных удобрений 10–20 кг д.в. на тонну растительных остатков [6]. Однако биомасса кукурузы содержит растворимые углеводы [10], что ускоряет ее минерализацию.

На начальной стадии разложения растительной массы, когда происходит рост бактерий, мелкое измельчение оказывает положительное влияние на их минерализацию, что обусловлено как увеличением площади поверхности

растительных остатков, так и частичным разрушением лигнинового барьера. По мере освоения разлагаемых частиц гифами грибов разница в разложении частиц различного размера нивелируется [6].

При внесении в почву органической массы с широким отношением C/N, формировалось более разнообразное сообщество и более зрелая микробная система, а также наблюдался больший прирост биомассы грибов, что сопровождалось плавным изменением содержания микробного углерода и гумифицированного органического вещества [6].

По данным Н. М. Мудрых, И. А. Самофаловой [8], систематическое поступление органического вещества в почву положительно влияло на гумусное состояние почв.

Для сохранения черноземов южных слабогумусированных, которые содержат менее 4 % гумуса, актуальной проблемой является пополнение запасов органического вещества почвы [13, 14].

Цель исследований – оценить влияние сроков посева на количество послеуборочных остатков, органического вещества, поступающих в почву при возделывании кукурузы на зерно для воспроизводства органического вещества почвы.

Материалы и методы исследований

Исследования были проведены в 2016–2019 гг. в восьмипольном научном севообороте отделения полевых культур ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (с. Клепинино, Красногвардейский р-н, Республика Крым) на черноземе южном слабогумусированном. Мощность гумусового слоя (горизонт А) составляет 24–36 см, всего – 57–70 см. В пахотном слое содержится 2,4–2,7 % гумуса (по Тюрину), легкогидролизуемого азота – 5,2 мг/100 г почвы, подвижных форм фосфора – 1–2,5 мг/100 г почвы, калия – 42 мг/100 г почвы (по Мачигину). Сумма поглощенных щелочей – 28,5–38,3 мг-экв/100 г почвы. Валового азота в пашне – 0,11–0,12 %, фосфора – 0,20 %, калия – 1,96 %. Реакция почвенного раствора слабощелочная в верхнем горизонте (рН 7,7–7,9) [15].

Схема опыта включала следующие варианты: универсальные гибриды кукурузы разных групп спелости (фактор А) – раннеспелый Нур, среднеранний Машук 220 МВ, среднеспелый Машук 355 МВ, сроки посева (фактор В) – пятого, 15 и 25 апреля, метеоусловия лет исследований (фактор С) – 2016–2019 гг.

Предшественником служили зерновые колосовые культуры. Закладку опытов проводили в соответствии с методическими рекомендациями по проведению полевых опытов с кукурузой [16]. Общая площадь делянки 50 м², учетная – 25 м², повторность – четырехкратная. Посев производили сеялкой СПУ-8.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили методом трехфакторного дисперсионного анализа по Т. М. Литтлу и Ф. Дж. Хилзу [17].

По данным агрометеорологической станции Клепинино, среднесуточная температура воздуха за период апрель–сентябрь 2016–2019 гг. превышала среднемноголетнюю норму на 1,3–2,5 °С (рисунок 1).

Сумма активных температур за период вегетации кукурузы в 2018 г. была максимальной за годы исследований и составила 3721,8 °С, что выше многолетней нормы на 543,8 °С (17,1 %).

Количество осадков сильно варьировало по годам исследований, а также по месяцам – 2016 г. характеризовался избыточным увлажнением, за период апрель–сентябрь выпало 521,9 мм осадков, что превысило среднемноголетнюю норму более чем в два раза (рисунок 2).

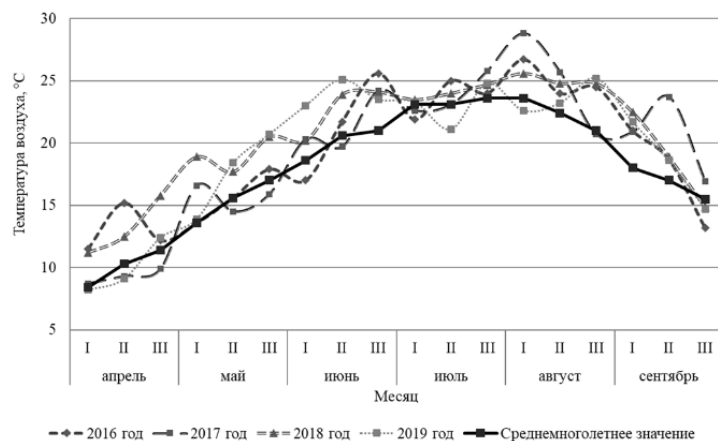


Рисунок 1 – Среднесуточная температура воздуха в годы исследований

Самой низкой теплообеспеченностью характеризовался 2017 г., наибольшей – 2018.

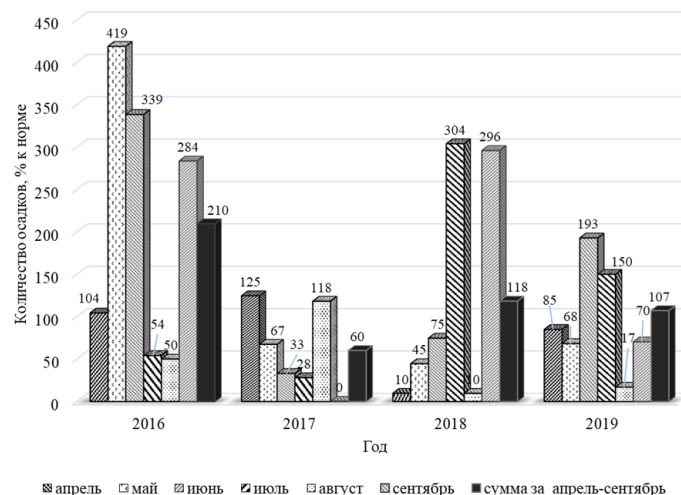


Рисунок 2 – Среднемесячное количество осадков, выраженное в процентах к среднеголетней норме

В 2017 г. период вегетации кукурузы был экстремально засушливым, 2018 и 2019 гг. по сумме осадков за апрель–сентябрь были близкими к среднеголетней норме.

Низкая влажность воздуха является фактором, усугубляющим дефицит почвенной влаги в весенние и летние месяцы в степной зоне Крыма. В среднем за 2016–2019 гг. количество дней с влажностью воздуха 30 % и ниже превысило среднеголетнее значение на шесть дней (13,9 %). Этот показатель варьировал от 23 дней (46 % нормы) в 2019 г. до 83 дней в 2017 г., что составило 193 % нормы.

Запасы продуктивной влаги в почве в период посева за все годы проведения опытов были достаточными для получения дружных и своевременных всходов.

Результаты и их обсуждение

В условиях степной зоны Крыма масса послеуборочных остатков кукурузы (с корнями) в пересчете на сухое вещество зависела от всех изучаемых факторов (гибрида, срока посева, условий года), а также их взаимодействия (таблица 1).

Установлено наибольшее влияние условий года (фактор С) на массу растительных остатков кукурузы (доля влияния 78,3 %). По фактору С средние значения варьировали от 3,48 т/га в 2017 г. до 10,62 т/га в 2019 г. Крым является зоной

рискованного земледелия, поэтому широкий размах варьирования продуктивности кукурузы в большей степени обусловлен условиями увлажнения [18]. Табаленкова Г. Н. с соавторами также сообщает, что погодные условия вегетации оказывали существенное влияние на накопление биомассы растений кукурузы гибрида Дорка МГТ в Республике Коми [19].

В среднем за время проведения опыта максимальное количество растительной массы оставлял после себя среднеспелый гибрид кукурузы Машук 355 МВ – на 1,43 т/га (18,9 %) и 1,20 т/га (15,9 %) больше по сравнению с гибридами Нур и Машук 220 МВ. Доля действия фактора А (гибрид) составила 4,7 % (рисунок 3).

Таблица 1 – Масса послеуборочных остатков кукурузы (с корнями) с гектара в пересчете на сухое вещество, т

Гибрид (фактор А)	Срок посева (фактор В)	Год (фактор С)				Средняя по фактору А	Средняя по фактору В
		2016	2017	2018	2019		
Нур	5 апреля	5,13	2,81	3,67	11,01	6,12	6,42
	15 апреля	5,24	3,16	5,04	11,09		7,08
	25 апреля	7,24	3,82	5,97	9,25		6,51
Машук 220 МВ	5 апреля	5,84	3,44	5,93	9,72	6,35	
	15 апреля	5,61	3,72	7,25	9,86		
	25 апреля	5,51	2,00	8,64	8,75		
Машук 355 МВ	5 апреля	8,60	3,72	6,18	11,04	7,55	
	15 апреля	6,96	5,78	8,20	13,11		
	25 апреля	5,33	2,85	7,09	11,73		
Средние по фактору С		6,16	3,48	6,44	10,62		

Примечание. НСР_{0,5} по факторам А – 0,464; В – 0,464; С – 0,536; АВ – 0,804; АС – 0,928; ВС – 0,928; АВС – 1,607.

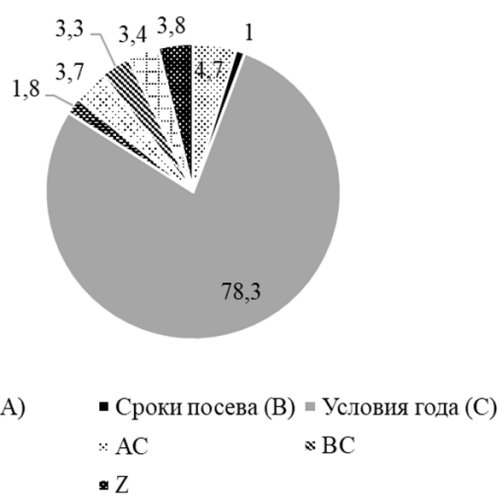
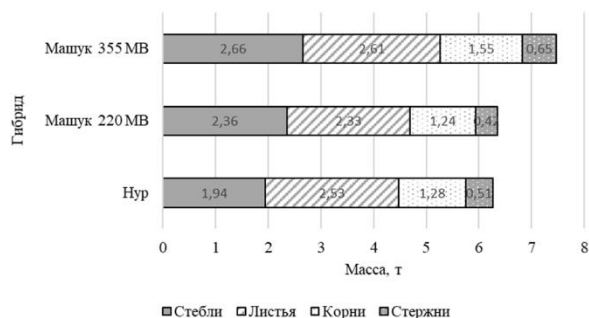


Рисунок 3 – Доля действия факторов на количество растительных остатков, оставляемых кукурузой при выращивании на зерно, 2016–2019 гг., %

Доля влияния сроков посева гибридов кукурузы (фактор В) была меньше, чем у предыдущего фактора (1 %). Однако влияние данного фактора доказано: при посеве 15 апреля формировался более продуктивный агроценоз, получено побочной продукции на 0,66 т/га (9,3 %) и 0,57 т/га (8,1 %) больше, чем при посеве пятого и 25 апреля соответственно.

Сухая биомасса кукурузы содержит 47 % органического углерода [9], в среднем по опыту растительные остатки накапливали 3,1 т/га углерода, размах варьирования составил от 0,94 до 6,16 т/га.

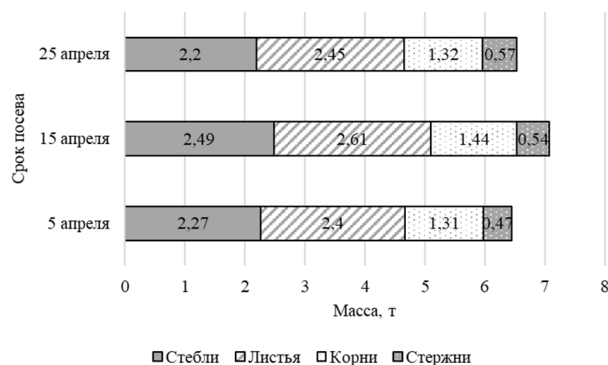
Состав послеуборочных остатков варьировал в зависимости от гибрида. Стебли и листья преобладали в растительной массе гибридов Машук 220 МВ и Машук 355 МВ – их содержалось 37 и 35 % соответственно. У гибрида Нур в послеуборочных остатках преобладали листья (40 %). В ряду гибридов кукурузы Нур – Машук 220 МВ – Машук 355 МВ сбор стеблей с гектара достоверно увеличивался на 0,42 т/га (21,6 %) и 0,30 т/га (12,7 %). Гибрид Машук 220 МВ уступал другим гибридам по массе листьев. Максимальная масса корней и стержней отмечена у гибрида кукурузы Машук 355 МВ (рисунок 4).



Примечание. НСР₀₅ для стеблей – 0,13 т, листьев – 0,24 т, корней – 0,11 т, стержней – 0,10 т.

Рисунок 4 – Структура послеуборочных остатков кукурузы, полученных с гектара (в пересчете на сухое вещество) в зависимости от гибрида кукурузы (средние по фактору А), 2016–2019 гг.

При посеве 15 апреля агроценоз кукурузы формировал наибольшую массу стеблей и корней, существенной разницы по содержанию других частей растений не выявлено (рисунок 5).



Примечание. НСР₀₅ для стеблей – 0,13 т, листьев – 0,24 т, корней – 0,09 т, стержней – 0,11 т.

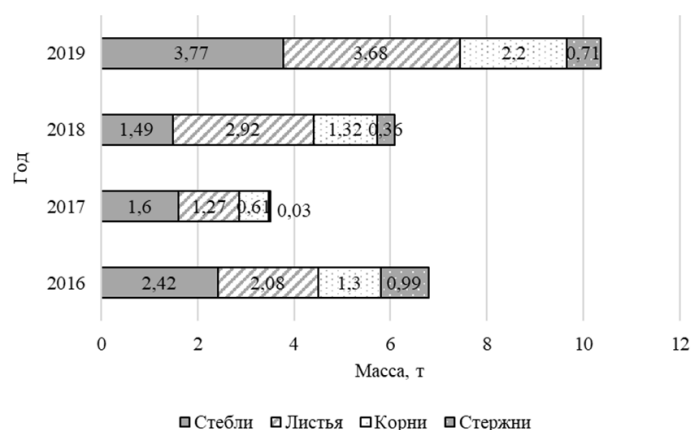
Рисунок 5 – Структура послеуборочных остатков кукурузы, полученных с гектара (в пересчете на сухое вещество) в зависимости от сроков посева (средние по фактору В), 2016–2019 гг.

Наблюдали тенденцию к увеличению массы листьев при посеве кукурузы в вышеуказанный срок.

Наибольшая вариабельность состава растительных остатков кукурузы отмечалась по годам исследований. В неурожайном 2017 г. 46 % массы составляли стебли, а стержней початков было минимальное количество – 2,0 %. В достаточно

благоприятном 2018 г. состав растительных остатков был более качественный, в составе биомассы преобладали листья – 48 %, стеблей было минимальное за все годы количество – 24 %. Корней содержалось от 17 % (в 2017 г.) до 22 % (в 2018 г.) от биомассы (рисунок 6).

В среднем по опыту кукуруза на зерно оставила после себя 6,36 т/га органики, что выше поступления органического вещества при сидерации донника, эспарцета, тритикале озимой в условиях степной зоны Крыма [20] и эквивалентно 22,9 т/га подстилочного навоза крупного рогатого скота [21] (таблица 2).



Примечание. НСР₀₅ для стеблей – 0,15 т, листьев – 0,28 т, корней – 0,11 т, стержней – 0,12 т.

Рисунок 6 – Структура послеуборочных остатков кукурузы, полученных с гектара (в пересчете на сухое вещество) в зависимости от года исследований (средние по фактору С), 2016–2019 гг.

Таблица 2 – Масса органического вещества, содержащаяся в пожнивных остатках кукурузы на зерно с гектара, в пересчете на сухое вещество, т

Гибрид (фактор А)	Срок посева (фактор В)	Год (фактор С)				Средняя по фактору А	Средняя по фактору В
		2016	2017	2018	2019		
Нур	5 апреля	4,81	2,64	3,45	10,33	5,84	6,06
	15 апреля	4,96	3,65	4,77	10,50		6,80
	25 апреля	6,88	3,63	5,68	8,79		6,22
Машук 220 МВ	5 апреля	5,50	3,24	5,58	9,15	6,03	
	15 апреля	5,33	3,53	6,88	9,36		
	25 апреля	5,27	1,92	8,26	8,37		
Машук 355 МВ	5 апреля	8,17	3,54	5,87	10,5	7,21	
	15 апреля	6,67	3,53	7,86	12,56		
	25 апреля	5,11	2,73	6,79	11,25		
Средние по фактору С		5,85	3,38	6,13	10,09		

Примечание. НСР_{0,5} по факторам: А – 0,442; В – 0,442; С – 0,510; АВ – 0,765; АС – 0,883; ВС – 0,883; АВС – 1,530.

Этот показатель сильно варьировал в зависимости от гибрида, срока посева и условий года от 1,92 т/га (гибрид Машук 220 МВ, срок посева 25 апреля, 2017 г.) до 12,56 т/га (Машук 355 МВ, срок посева 15 апреля, 2019 г.). В пересчете на подстилочный навоз крупного рогатого скота, его поступление на гектар составляло от 6,9 до 45,2 т. В среднем за годы исследований максимальное количество органики поступило в почву с растительными остатками при посеве 15 апреля – на 0,74 т/га (12,2 %) и 0,58 т/га (9,3 %) больше, чем при посеве пятого и 25 апреля соответственно.

Выводы

В богарных условиях степной зоны Крыма на количество послеуборочных остатков кукурузы (с корнями) при выращивании ее на зерно оказывали существенное влияние условия года (доля действия 78,3 %), гибрид (4,7 %), сроки посева (1 %), а также взаимодействие факторов.

Наиболее благоприятным был 2019 г. – в почву поступило 10,62 т/га растительных остатков, содержащих 10,09 т/га органического вещества, в составе которого 5,0 т/га органического углерода. Однако в острозасушливых условиях 2017 г. продуктивность растений кукурузы резко снизилась – получено 3,48 т/га растительных остатков.

Максимальное количество послеуборочных остатков поступало в почву после гибрида кукурузы Машук 355 МВ – 7,55 т/га, что на 1,43 т/га (18,9 %) и 1,20 т/га (15,9 %) больше по сравнению с гибридами Нур и Машук 220 МВ.

Лучшим сроком посева было 15 апреля, при котором формировался более продуктивный агроценоз: получено побочной продукции 7,08 т/га, что на 0,66 т/га (9,3 %) и 0,57 т/га (8,1 %) больше, чем при посеве пятого и 25 апреля соответственно.

В среднем по опыту кукуруза на зерно оставила после себя 6,36 т/га органики, Этот показатель сильно варьировал в зависимости от гибрида, срока посева и условий года – от 1,92 т/га до 12,56 т/га, что эквивалентно 6,9–45,2 т/га подстилочного навоза крупного рогатого скота.

Литература

1. Кукуруза. Выращивание, уборка, консервирование и использование // Под общ. ред. Д. Шпаара. М.: ДАВ АГРОДЕЛО, 2014. 389 с.
2. Erenstein O., Jaleta M., Sonder K., Mottaleb K., Prasanna B. M. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications // Food Security. 2022. Vol. 14. P. 1295–1319. DOI: 10.1007/s12571-022-01288-7.
3. Драгнев С. В., Железная Т. А., Гелетуха Г. Г. Возможности заготовки побочной продукции кукурузы на зерно для энергетического использования в Украине. Аналитическая записка БАУ. 2016 № 16. 52 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://uabio.org/materials/8685/> (дата обращения 10.07.2023).
4. Волошин Е. И., Ивченко В. К., Количенко А. А. Особенности накопления растительных остатков яровой пшеницы на государственных сортоучастках Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2021. № 6(171). С. 47–57. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-6-47-57.
5. Стулин А. Ф., Верховцева Н. В. Баланс питательных веществ и накопление корневых и пожнивных остатков в кукурузном агроценозе при длительном применении удобрений // Проблемы агрохимии и экологии. 2022. № 1. С. 3–9. DOI: 10.26178/AE.2022.90.75.001.
6. Семенов В. М., Ходжаева А. К. Агроэкологические функции растительных остатков в почве // Агрохимия. 2006. № 7. С. 63–81.
7. Шекунова С. Ф. Известкование и разложение пожнивных остатков кукурузы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://glavagronom.ru/articles/izvestkovanie-i-razlozhenie-pozhnyvnyh-ostatkov-kukuruzu> (дата обращения 14.08.2023).
8. Мудрых Н. М., Самофалова И. А. Опыт использования растительных остатков в почвах нечерноземной зоны России (обзор) // Пермский аграрный вестник. 2017. № 1(17). С. 88–97.
9. Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Бирюкова О. М., Кирдун Т. М., Белявская Ю. А., Торчило М.М. Коэффициенты пересчета зерна и семян в побочную продукцию и содержание основных элементов питания в побочной продукции сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь // Почвоведение и агрохимия. 2016. № 2(57). С. 78–89.
10. Табаленкова Г. Н., Дымова О. В., Головки Т. К. Продуктивность и состав биомассы кукурузы в условиях центрального агроклиматического района Республики // Аграрный вестник Урала. 2020. № 3(194). С. 57–65. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-194-3-57-65.
11. Гилев С. Д., Цымбаленко И. Н., Замятин А. А., Курлов А. П. Эффективность технологий прямого посева при возделывании зерновых и зернобобовых культур в условиях Зауралья // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию Курганского НИИСХ и 100-летию Шадринского опытного поля «Современные проблемы земледелия Зауралья и пути их научно обоснованного решения». Садовое: ООО «Куртамышская типография», 2014. С. 20–26.

12. Турин Е. Н. Преимущества и недостатки системы земледелия прямого посева в мире (Обзор) // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 2(22). С. 150–168. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-150-168.
13. Приходько А. В., Черкашина А. В., Караева Н. В. Влияние фитомелиорантов на показатели плодородия чернозема южного // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 159–170.
14. Стекольников К. Е. Органическое земледелие в России – благо или катастрофа? // Биосфера. 2020. Т. 12. № 1–2. С. 53–62. DOI: 10.24855/BIOSFERA.V12I1.537.
15. Половицкий И. Я., Гусев П. Г. Почвы Крыма и повышение их плодородия. Симферополь: Таврия, 1987. 152 с.
16. Филев Д. С., Циков В. С., Золотов В. И., Логачев Н. И., Телятников Н. Я., Пономаренко А. К. Методические рекомендации по проведению полевых опытов с кукурузой // Днепропетровск: Городская типография № 3. 1980. 54 с.
17. Литтл Т. М., Хиллз Ф. Дж. Сельскохозяйственное опытное дело. Планирование и анализ. М.: Колос, 1981. 320 с.
18. Черкашина А. В. Влияние элементов технологии и гидротермических условий на урожайность зерна кукурузы гибридов разных групп спелости в неорошаемых условиях степной зоны Крыма // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 85. С. 290–294. DOI: 10.21515/1999-1703-85-290-294.
19. Табаленкова Г. Н., Силина Е.В., Дымова О.В., Далькэ И.В., Головки Т.К. Формирование урожая и качество зеленой массы кукурузы в условиях центрального агроклиматического района Республики Коми // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. № 22(5). С. 689–697. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.5.689-697.
20. Prikhodko A. V., Cherkashyna A. V., Zubochenko A. A., Svyatyuk Y. V., Gongalo A. A., Pikhtereva A. V., Moreva T. B. Influence of composition species of green manure crops on soil fertility // proceedings of materials of IOP Conference. Series “Earth and Environmental Science”. Ussurijsk, 2021. Art. No. 032022. DOI: 10.1088/1755-1315/937/3/032022.
21. Державин Л. М., Афанасьев Р. А., Мерзлая Г. Е. Методология комплексного применения удобрений и пестицидов в интенсивном земледелии. М.: ВНИИА, 2016. 344 с.

References

1. Corn. Cultivation, harvesting, canning and utilization // Under general editorship of D. Shpaar. 5th edition. Moscow: DAV AGRODELO, 2014. 389 p.
2. Erenstein O., Jaleta M., Sonder K., Mottaleb K., Prasanna B. M. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications // Food Security. 2022. Vol. 14. P. 1295–1319. DOI: 10.1007/s12571-022-01288-7.
3. Dragnev S., Zheliezna T., Geletukha G. Opportunities for harvesting by-products of grain corn for energy production in Ukraine // Bioenergy Association of Ukraine (UABio) Position Paper. 2016. No. 16. 52 p. [Electronic resources]. Access point: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/position-paper-uabio-16-en.pdf> (reference's date 10.07.2023).
4. Voloshin E. I., Ivchenko V. K., Kolichenko A. A. Features of the accumulation of spring wheat residues in state variety sites of the Krasnoyarsk region // Bulletin of KSAU. 2021. No. 6(171). P. 47–57. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-6-47-57.
5. Stulin A. F., Verkhovtseva N. V. The balance of nutrients and the accumulation of root and crop residues in the corn agrocenosis with long-term application of fertilizers // Agrochemistry and Ecology Problems. 2022. No. 1. P. 3–9. DOI: 10.26178/AE.2022.90.75.001.
6. Semenov V. M., Khodzhaeva A. K. Agroecological functions of plant residues in soil // Agrohimiya. 2006. No. 7. P. 63–81.
7. Shekunova S. F. Liming and decomposition of maize crop residues [Electronic resource]. Access point: <https://glavagronom.ru/articles/izvestkovanie-i-razlozhenie-pozhniivnyh-ostatkov-kukuruzy> (reference's date 14.08.2023).
8. Mudryh N.M., Samofalova I.A. On to the experience of the usage of plant residues in soils of non-black soil zone of Russia (review) // Perm Agrarian Journal. 2017. No. 1(17). P. 88–97.
9. Bogatyrova E. N., Seraya T. M., Biryukova O. M., Kirdun T. M., Belyavskaya Yu. A., Torchilo M. M. Conversion coefficients of grain and seed in by-products and the content of main nutrients in by-products of agricultural crops in the Republic of Belarus // Pochvovedenie i agrokhimiya. 2016. No. 2(57). P. 78–89.
10. Tabalenkova G. N., Dymova O.V., Golovko T.K. Productivity and composition of maize biomass in the central agroclimatic region of the Komi Republic // Agrarian Bulletin of the Urals. 2020. No. 03 (194). P. 57–65. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-194-3-57-65.
11. Gilev S.D., Tsymbalenko I.N., Zamyatin A.A., Kurlov A.P. Efficiency of direct seeding technologies in cultivation of grain and legume crops under Trans-Urals conditions // Modern problems of farming in the Trans-Urals and ways of their scientifically sound solutions: Proceedings of the international

scientific and practical conference dedicated to the 40th anniversary of the Kurgan Research Institute of Agriculture and the 100th anniversary of the Shadrinskoye experimental field. Sadovoye: Kurtamysch printing house OOO (Limited Liability Company), 2014. P. 20-26.

12. Turin E. N. Advantages and disadvantages of no-till farming around the world (review) // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2020. No. 2(22). P. 150–168. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-150-168.

13. Prikhodko A. V., Cherkashyna A. V., Karaeva N. V. Influence of phytomeliorants on fertility indicators of chernozems southern // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 159–170.

14. Stekolnikov K. E. Organic agriculture in Russia: a good or a disaster? // Biosfera. 2020. Vol. 12. No. 1–2. P. 53–62. DOI: 10.24855/BIOSFERA.V12I1.537.

15. Polovitsky I. Ya. Gusev P. G. Soils of the Crimea and increasing their fertility. Simferopol: Tauria, 1987. 152 p.

16. Filev D. S., Tsikov V. S., Zolotov V. I., Logachev N. I., Telyatnikov N. Ya. Ponomarenko A. K. Methodical recommendations for conducting field experiments with maize // Responsible for the issue I. D. Tkalic. Dnepropetrovsk: Gorodskaya tipografiya No. 3, 1980. 54 p.

17. Little T. M., Hills F. J. Agricultural experimentation: design and analysis / Ed. by Vasilyeva D. V. Moscow: Kolos, 1981. 320 p.

18. Cherkashyna A. Influence of elements of cultivation technology and hydrothermal conditions on yield of maize hybrids of different maturity groups under non-irrigated conditions in the steppe zone of the Crimea // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2020. No. 85. P. 290–294. DOI: 10.21515/1999-1703-85-290-294.

19. Tabalenkova G. N., Silina E. V., Dymova O. V., Dalke I. V., Golovko T. K. Crop formation and green mass quality of maize under conditions of central agroclimatic region of Komi Republic // Agricultural Science Euro-North-East. 2021. No. 22(5). P. 689–697. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.5.689-697.

20. Prikhodko A. V., Cherkashyna A. V., Zubochenko A. A., Svyatyuk Y. V., Gongalo A. A., Pikhtereva A. V., Moreva T. B. Influence of composition species of green manure crops on soil fertility // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 937. Art. No. 032022. DOI: 10.1088/1755-1315/937/3/032022.

21. Derzhavin L. M., Afanasyev R. A., Merzlaya G. E. Methodology of complex application of fertilizers and pesticides in intensive farming. Moscow: D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agricultural Chemistry (VNIIA), 2016. 344 p.

UDC 633.15:631.5:631.871

Cherkashyna A. V., Prikhodko A. V.

EFFECT OF PLANTING DATES ON THE AMOUNT OF POST-HARVEST RESIDUES OF CORN CULTIVATED FOR GRAIN

Summary. *Root and stubble residues of field crops, including corn, are one of the main sources of replenishment of soil organic matter, which is relevant for southern low humus chernozems, the humus content in which is lower than 4 %. This research aimed to evaluate the effect of planting dates on the amount of post-harvest residues and organic matter entering the soil during cultivation corn for grain purposes. The studies were carried out in 2016-2019 at the experimental field of the Field Crops Department – structural unit of the Research Institute of Agriculture of Crimea. The experimental design included the following options: Factor A – hybrids ('Nur', 'Mashuk 220 MV', 'Mashuk 355 MV'); Factor B – planting dates (April 5, 15 and 25); Factor C – weather conditions of the years of research (2016-2019). The total area of the experimental plot – 50 m², accounting – 25 m². Field experiments were replicated four times. Mathematical processing of the research results of the three-factor experiment was carried out according to T.M. Little and F.J. Hills Agricultural Experimentation: Design and Analysis (1981). Under rainfed conditions of the steppe zone of Crimea, significant influence on the amount of post-harvest residues of corn (with roots) cultivated for grain had weather conditions of the year (78.3%), hybrid (4.7%), planting dates (1%), as well as the interaction of factors. The most favourable year – 2019: 10.62 t/ha of crop residues were incorporated in soil, which contained 10.09 t/ha of organic matter with 5.0 t/ha of organic carbon. On average, corn left 6.36 t/ha of organic matter (from*

1.92 to 12.56 t/ha depending on the variant of the experiment). This amount was equivalent to 6.9-45.2 t/ha of cattle manure. 'Mashuk 355 MV' was the most productive: it provided 7.55 t/ha of biomass, which was 15.9%-18.9% higher than that of other hybrids. On average, for the period from 2016 to 2019, the best planting date was April 15th, when by-product yield reached 7.08 t/ha, which was 8.1-9.3% higher than if corn was sown on April 5th or 25th.

Keywords: corn (*Zea mays* L.), planting date, hybrid, post-harvest residues, organic matter, non-irrigated conditions.

Черкашина Анна Владимировна, старший научный сотрудник лаборатории земледелия ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: cherkashyna_a@niishk.site.

Приходько Александр Валентинович, старший научный сотрудник лаборатории земледелия, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: prihodko_a@niishk.site.

Cherkashyna Anna Vladimirovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Laboratory of agriculture, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: cherkashyna_a@niishk.site.

Prihodko Aleksandr Valentinovich, senior researcher of the Laboratory of agriculture, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: prihodko_a@niishk.site.

Дата поступления в редакцию – 14.07.2023

Дата принятия к печати – 18.09.2023

Свободная цена